

# 海洋科學

毛漢禮著

科學出版社



贈閱

# 海 洋 科 學

毛 漢 禮 著

科 學 出 版 社

1955年11月



中科院植物所图书馆



S0014324

## 內 容 提 要

本書內容共分：海洋的形態，海水的理化性質，海水的各種運動方式——潮汐、波浪、海流及海洋中的生物界等七講。作者力求通過簡明淺近的敘述，通俗地介紹海洋科學的主要內容。本書是供給稍具理、化及生物科學基礎的廣大羣衆的讀物。

## 海 洋 科 學

---

著 者 毛 漢 禮

出版者 科 學 出 版 社

北京東皇城根甲42號  
北京市書刊出版業營業許可證出字第061號

印刷者 北 京 新 華 印 刷 廠

總經售 新 華 書 店

---

書號：0318

1955年11月第一版

(專) 089

1955年11月第一次印刷

(京) 0001-2,495

開本：787×1092 1/25

字數：96,000

印張：4 4/5

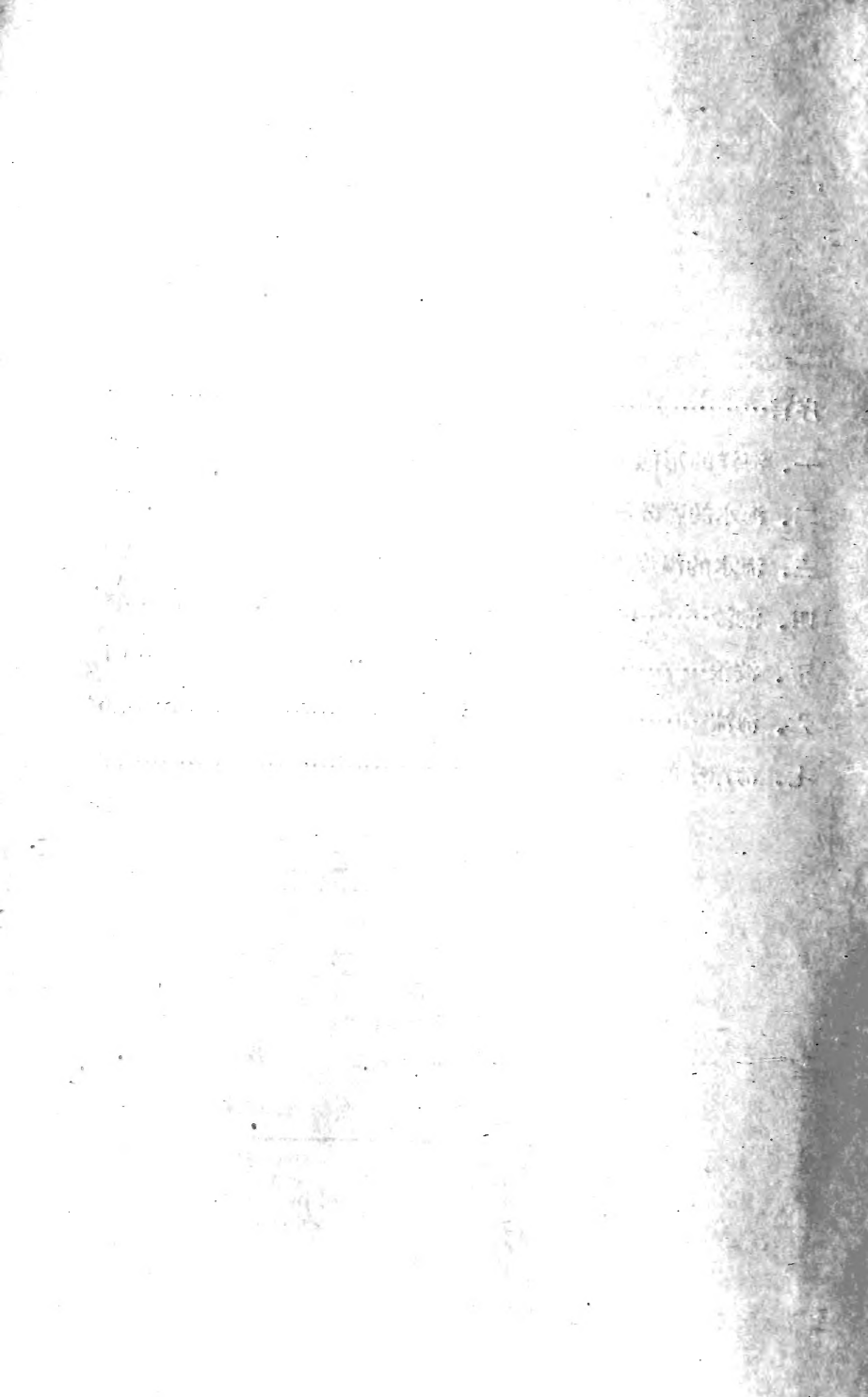
定價：(8) 0.71 元



# 目 錄

序言.....	i
一. 海洋的形態.....	1
二. 海水的鹽分和化學性質.....	17
三. 海水的溫度及其他物理現象.....	29
四. 潮汐.....	48
五. 波浪.....	67
六. 海流.....	80
七. 海洋中的生物界.....	99

1476842



## 序 言

海洋自古就吸引着人們，海洋科學的研究工作者，是滿懷熱忱爲人民服務的。偉大的斯大林同志就曾英明地指出：“蘇聯的海洋學，並不是脫離人民，並不是與人民保持距離，而是願意把科學研究的一切收穫，貢獻給人民。它爲人民服務，不是強制的，而是熱心自願的。”（1938年5月19日真理報）

在過去的幾十個年代裏，由於世界各國海洋學者們，特別是蘇聯的先進海洋學者們，冒着洶湧的波濤和嚴寒的冰雪（尤其在北冰洋上），在遼闊的海面上，艱苦工作的結果，現在，海洋科學已成爲一門嶄新的科學了。它的研究成果對國防上和經濟上，都起了一定的重要作用。

可是，在我們祖國，海洋科學的研究還祇是剛剛開始。毛主席說：“我們要在全國範圍內，掀起學習蘇聯的高潮，來建設我們的國家”。毫無例外的，向蘇聯學習海洋科學發展的先進經驗，更是萬分必要的。在1921年3月10日，無產階級革命的導師列寧簽署了設立流動海洋學院的命令，這樣便奠定了蘇聯現代海洋科學發展的基石。在第一個五年計劃的第四個年頭（1932）裏，儘管蘇聯當時國內經濟條件還相當困難，但是他們却開始了大規模的海洋科學研究工作。到今天，強大的蘇聯已經有了各種各樣的海洋科學研究機構，有着很多的海洋調查船（最大的一艘調查船“勇士號”，重達五千餘噸，無疑是今日全世界最大的一艘海洋調查船）。並且成千成百的學者們和工程師們都參加了海洋科學的調查和研究工作，正是因爲他們熱情地從事海洋科學的工作，所以不僅是幫助了國家打通了北海航路，而且也解決了許多關於海洋方面以前所不了解的問題，這些同鞏固蘇聯的國防和發展蘇聯的航業及漁業有着密不可分的關係。無疑

地，蘇聯的海洋科學，今天已成為世界上最先進的海洋科學，我們必須誠懇虛心地向蘇聯學習這一先進的經驗。

這本小冊子，是寫給廣大人民羣衆的科學通俗讀物，因此我們將儘可能避免談到深奧的理論和公式，以及一些繁冗的數字和複雜的圖表，只用簡要的敘述和必不可少的圖表，將海洋科學的基本內容和研究成果介紹出來。（相信只要稍有理化和生物基礎的人，看起來是不會感到困難的），著者希望藉此引起熱愛祖國的人們，對於海洋科學的興趣和注意，為祖國海洋科學事業的發展，創造更有利的條件。

在這裏，須要特別注意到：海洋科學的領域異常廣大，它所研究的對象，也是十分複雜的，為了做好這一門的科學研究工作，我們必須遵照馬克思主義辯證法的指示：“……不是把自然界看作什麼彼此隔離，彼此孤立，彼此不相依賴的各個對象或各個現象底偶然堆積，而是把它看作有內在聯系的統一整體，其中各個對象或各個現象是互相密切聯系着，互相依賴着，互相制約着的。”（聯共黨史簡明教程四章二節）因此只有運用辯證唯物論的觀點，才是發展海洋科學的正確道路。我們不但要分別地研究海岸的形狀，海底的起伏與地層，海水的理化性質和現象，海水的運動以及海洋中的生物世界，更重要的，是把它們看作有內在聯系的一整體，來研究它們之間的相互關係。惟有這樣，我們才能夠真正了解和解決海洋中的種種現象和問題，才可以征服海洋，並使它充分地被人類所利用。

最後，著者謹向對寫作這本小冊子的工作中，起指導、幫助和鼓勵作用的同志們和朋友們，致以懇摯的謝忱。其中須要特別提出來的，是中國科學院海洋生物研究室的管秉賢、任允武兩位同志和愛人范易君同志。管、任兩同志在第五章（波浪）和第六章（海流）的寫作上，給予了具體的幫助。范同志幫助著者搜集並整理資料，修改文字和予以不斷的鼓勵，使得這本小冊子能順利寫成。山東大學海洋系主任赫崇本教授在著者寫作中，給以很多指導，並提出許多寶貴意見，也是格外值得感激的。

著者 1955年初夏於青島，中國科學院海洋生物研究室。

## 一. 海洋的形態

### (一) 海洋有多大？——地球表面海陸的分布

“海洋到底有多大”？——這是一個自古以來，一直爲人們所注意而想得到解答的問題。在古代，由於科學技術的落後，人類沒法克服洶湧澎湃的波濤，因而無法渡過廣袤遼闊的海洋，所以人們對於海洋的概念，只能得自近岸和沿海的觀察，不免還摻雜了一部分的幻想。像我國古代書籍中如淮南子、山海經等所記述的海洋，其大部分可能出於空想，今天看來或不符合實際的。但從“大海汪洋”這一名詞看來，可以知道我國人民很早就意識到海洋是無限廣闊的。在古代民族中，希臘人被譽爲善於航海，並且富有海上經驗的，因此，他們的海洋知識，當時確實要算很傑出的。早在公元前520年希臘人赫加特斯(Hecateus)曾經繪製過一幅最古的世界全圖，以希臘爲世界的中心，周圍環繞着大洋。其實，這幅圖上的大洋，也不過只是地中海的一角而已。

自15—16世紀哥倫布(1492年)，麥哲倫(1519年)先後渡越大西洋和太平洋以後，以及明朝時我國鄭和七次下南洋，人們對於海洋的廣大性，才有進一步的認識。隨着科學技術的發達，人們可以製造出幾千噸幾萬噸的巨大船舶，能够克服洶湧的波濤，安全地橫渡任何大洋。後來飛機發明了，渡越海洋的時間又大大縮減了，因此海洋面積的實際測定，才有了可能。同時，更因爲理論科學——數學、物理學、製圖學等的進步，人們又能够計算出地球表面的面積和水陸的分布。這樣理論和實踐的結合，我們現在已經能够確切地回答“海洋到底有多大”這一問題了。

在今天，大家公認的數字：地球表面陸地和海洋的面積是：

水 面 或 陸 面	面 積	
	100 萬平方公里	百分比 (%)
海洋(水面)	361	70.8
陸地(陸面)	149	29.2
地球表面總面積	510	100

這樣，我們可以大概地說：地球表面水陸面積之比約為 7:3，這就是說，海洋面積約為陸地面積的 2.5 倍。為了更便當的認識海洋的廣大性，我們可用祖國的面積來和地球上的海洋面積作一比較。衆所週知，我國是世界上面積最大的國家之一，但是地球上的海洋總面積却比祖國的面積 (9,597,000 平方公里，世界知識 1955，第 80 頁) 要大上 35 倍，從這一具體數字，我們當可深切體會到海洋是多麼廣大了。因此便有人說：“世界上的陸地，不過是凸出在海洋面上的一些大島嶼而已。” 這個比喻是很恰當的。

上面，我們談到地面上水陸的總面積。如果進一步問，究竟它們的分布情形是怎樣的呢？在回答這一問題之先，我們可以看看下圖。

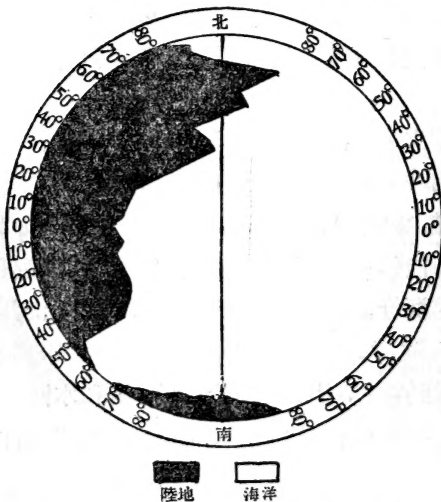


圖 1 地球表面各緯度上水陸面積的分布

看了圖 1 以後，我們便會立刻感到：地球表面上海、陸的分布是很不均勻的。在北半球有一些緯度上，陸地面積大過海洋面積；在南半球却有一些緯度之間，根本沒有陸地。這又是怎麼回事呢？原因是世界上最大的陸地——歐亞大陸是在北半球，次大的陸地——北美洲和北非洲也都在北半球，所以北半球的陸地面積比南半球要大得多。但是，即或這

樣，北半球上海洋的面積，仍然要比陸地的面積大些。大致是：北半球有10分之4(39.3%)是陸地；10分之6(60.7%)是海洋。至於南半球呢？較大的陸地只有南美洲和南非洲，還有一個澳洲，因此那裏陸地面積，還不到10分之2(19.1%)；海洋面積佔10分之8(80.9%)以上。所以也有人稱北半球為陸半球，南半球為水半球的。

其實，這樣的稱法，還不是很恰當的。爲了更恰切些，我們可以選取地面上某一適當的地點作爲中心，依據它來把地球平分成兩半，使地球上的絕大多數陸地，集中在一個半球上；而在另一半球上，幾乎全部是海洋。這樣，我們就可名符其實的稱前一個半球爲“陸半球”，後一個半球爲“水半球”。法國的海洋學者培爾才(A. Berget)以法國維萊納(Vileine)河口的杜曼(Dument)島(位在北緯 $47^{\circ}24'42''$ ，西經 $4^{\circ}27'13''$ )作爲陸半球的中心；紐西蘭東南海洋中的某地作爲水半球的中心。但必須指出，縱使這樣劃分，陸半球的海洋面積(52.7%)仍舊要比陸地面積(47.3%)來得大；在水半球，那更不用說了，海洋面積竟要佔到10分之9以上(90.5%)，而陸地面積還不到10分之1(9.5%)呢！

下圖所表示的，就是上述的水、陸半球，圖中還指出了陸半球中心——杜曼島和水半球中心的位置。

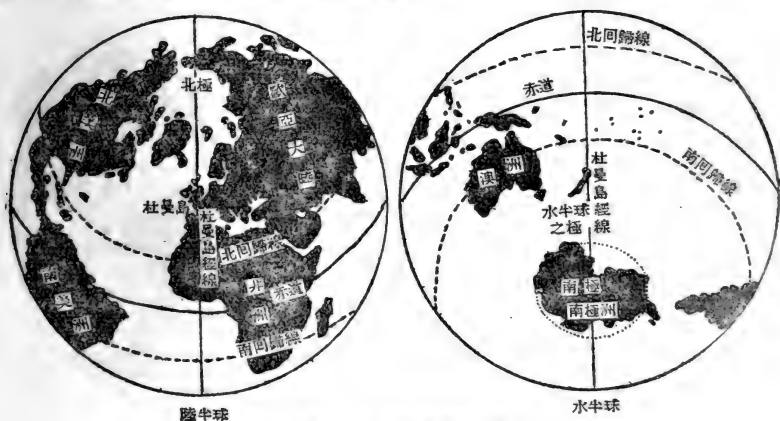


圖2 水半球與陸半球

看過圖 2 後，雖然我們已經可以得着地面上海、陸分布的一個概念，但很顯然地，這一概念仍是不够清楚的。因為從圖 2，我們還不能看清各大洋的輪廓。當然，要把地球表面的海、陸分布，繪製在一張圖紙上，並且又要正確，還要明顯，也就是要求一目瞭然，實在不是件容易的事。因為，地球是一球狀體，要把地球表面上凸凹不平的情況，用一張平面圖表示出來，的確是困難的。因此，一般書上世界全圖所表示的海洋輪廓，也常常是有些變形，難得十分正確的。

爲了要作一準確的海洋輪廓圖，我們可以想這樣一個辦法。就是假如我們能將地球的表殼，像剝橘子皮一般剝了開來，再把它攤平，那樣就可以得出一正確的地面形態圖。我們可以看到，把橘子皮剝開來，將它攤平時，有些地方一定免不了要起褶縐的。同樣地，假如能把地殼剝開而攤平的話，也一定會有褶縐的。用這個辦法所得到的海、陸分布圖，初看起來，有些別扭，覺得不大自然。但這樣的圖，却具有着下面的優點：第一，它所表示的相對面積是十分正確的；換句話說，這樣的圖，是足以真正代表地面上海陸分布的。第二，海洋的輪廓一點沒變的完全被表示了出來，也就是說，它是真實地指出了海洋的形狀。因此，現代的世界海洋全圖，一般都是用這種圖來表示的。從圖 3，可以一望而知地球上各大洋的輪廓。

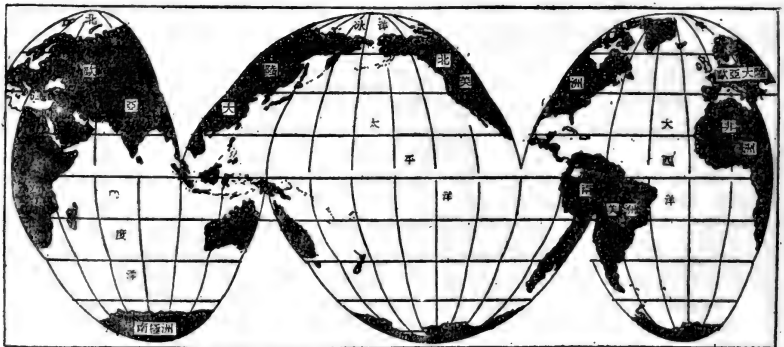


圖 3 地球表面海陸分布的輪廓



(二) 海洋有多深？——海底地形的輪廓

當我們初步理解了海洋的廣大性以後，很自然地，將要接着問：“那麼海洋又有多深呢”？爲了解答這個問題，且先看下面的圖；

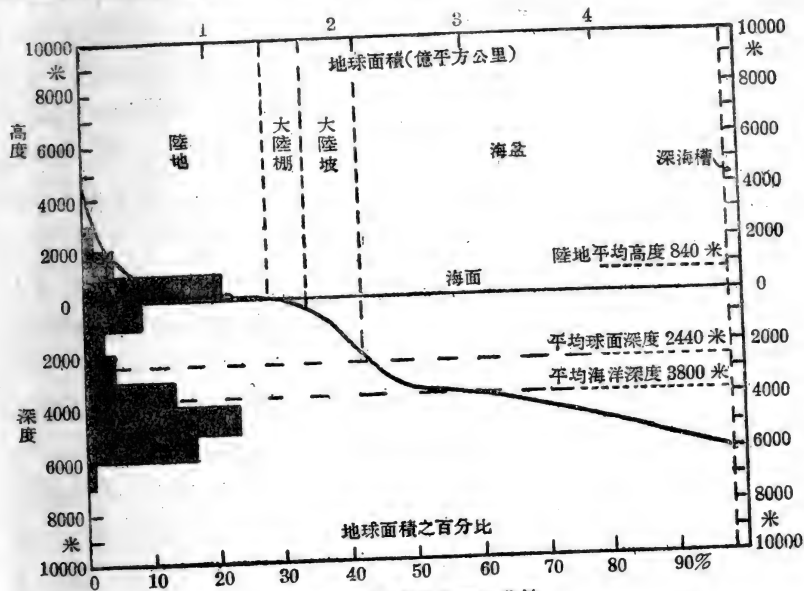


圖4 地面高度和深度曲線

從這一圖裏，我們可以知道有關海洋深度的幾件大事：

第一，我們可以看出地面上海洋的平均深度約爲3,800米，與這相對的，地面上陸地的平均高度只爲840米；那就是說：假使把地面上所有的陸地，全部移到海洋裏去的話，那麼整個地球將全部被海洋淹覆，而且深達2,440米，即5里左右，真是一個很可觀的深度啊！

第二，我們還可以看出，從深度上來說，海洋又可分成幾個階層：

(1) 從海陸相交接的地方起，海底開始逐漸地下沉，海洋科學上，把海底深度從0米起到200米之間的一段，稱爲“大陸棚”。大陸棚的坡度，雖也有一些較大的地方，但一般都是較小的。平均來說，只有 $0^{\circ}07'$ 左右。按百分比來說，是0.15%，也就是說：海底每向外

伸延 1 公里,平均加深 1.5 米左右。世界各地海洋大陸棚的大小、坡度和深度,很不一致。就大體而論,在地質年代較古的大陸——如歐亞大陸和美洲的東岸(大西洋岸)的大陸棚,比較寬廣,坡度和深度都比較的小;反之,在地質年代較新的大陸——如美洲的西岸(太平洋岸)的大陸棚,非常狹窄,坡度和深度也比較的大,這和大陸棚的成因有關。海洋中的大陸棚,多半是由於大陸受到海浪作用所造成,波浪一面侵蝕破壞陸地;一面又將侵蝕下來的岩塊泥沙向外搬運,到一定的地方又沉澱下來。因此年代愈久,大陸棚的面積便愈廣大,它的坡度和深度也愈小。世界海洋裏,大陸棚面積最寬廣的,要算北冰洋的亞伯利亞海。那裏的大陸棚寬度,一般都在 4—500 公里以上。我國海的大陸棚,寬度在幾百公里以上,也算相當寬廣的了。世界海洋大陸棚的平均寬度是 75 公里左右。大陸棚的總面積約佔全部海洋面積的 8% 左右。

(2) 從深度 200 米左右,海底坡度開始顯然轉變,即是由大陸棚的 7 分左右,轉變到 3—5° 之間。海洋科學上,把海底深度從 200 米起到海洋平均深度 2,440 米為止這一段,稱為“大陸坡”。大陸坡是在海底地形的各階層中坡度最大的。關於這一大陸坡的成因,就是問:為什麼海洋底層中這一部分的坡度特別陡峻?到今天止,海洋科學家們的意見,還不完全一致。斷層學說是較大多數學者所接受的。根據這一學說的說法,當海陸造成之初,地殼表面很不穩定,海陸相交接的那一部分,更是最不穩的地方,也就是最容易發生斷層的地方。斷層作用的結果,一面促使陸地更向上昇;一面逼使海底繼續下降,這樣便造成了這一陡峻的大陸坡。不過這一說法,還有着某些缺點,需要海洋科學家們進一步的努力,搜集各種證據,以為創造更完美的理論,創造條件。在各大洋裏,太平洋的大陸坡坡度最大,在 5° 以上(5°20′)。印度洋大陸坡的坡度最小,還不到 3°(2°55′)。海洋裏大陸坡的最大坡度,也有大到 30—40° 左右的,在那些地方,海底只要向外延伸 1 公里,深度就要加深 200—300 米,簡直和很陡峻的山坡相比擬了。大陸坡的總面積,約佔全部海洋面積的 11%。

(3) 從 2,440 米再向下降，海底坡度又變得和緩了。海洋科學上，把海底 2,440 — 6,000 米之間的一段，稱為“深海”或“海盆”。用洗臉盆來比喻，深海或海盆就是盆底，以前由於深海深度測量的困難，總以為深海的海底，好像洗臉盆的盆底一樣是平坦的；根據近年來對海洋測量所得的大量資料看來，它却不是平坦的，而是高高低低的，凸凸凹凹的，正和地面上的情形是大同小異的。為了得到一個概念，我們可以選取大西洋海底地形，和美國的地形作一番比較。看過圖 5 以後，我們還能說兩者的地形，又有什麼大不相同之處呢？

深海區域的面積最大，它佔到海洋總面積的 4 分之 3 以上 (78%)，但它的平均坡度，是在  $0^{\circ}20'$  到  $0^{\circ}40'$  之間。

(4) 以前，由於海洋深度測量的資料缺乏，人們總以為海洋最深的地方，是在大洋的中心。近一、二十年來，大量資料的證明，這種推測是不對的。資料指出：海洋最深的地點，並不在大洋的中心，而是在大洋的邊緣。海洋學上，把海底深度大於 6,000 米的地方，稱為“深海溝”。因為它的地形多是狹長的，像一條溝。太平洋中的菲律賓海溝，和日本海溝的深度，都在 10,000 米以上。菲律賓海溝的深度是

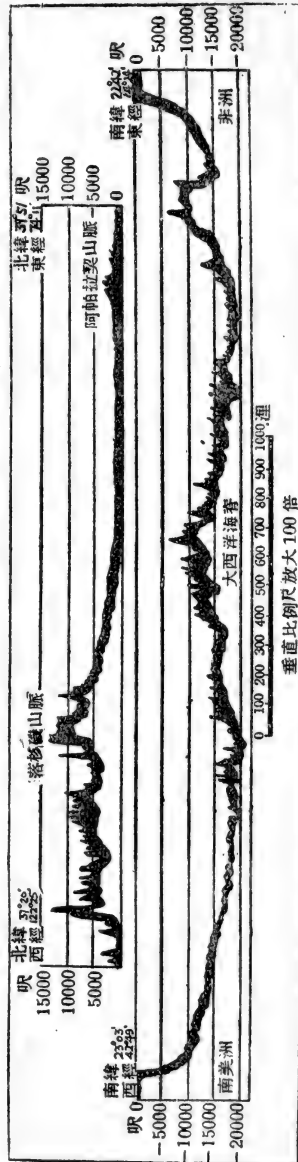


圖 5 北美地形和大西洋海底地形比較圖

10,789 米，是我們現已測得世界海洋中最深的地方。這兩個海溝，都位在海洋的邊緣，鄰近大陸。大西洋最深的地方（波多黎加海溝，深度是 8,750 米）和印度洋最深的地方（巽他海溝深度是 7,455 米），也都在海陸鄰接的地方。只有北冰洋，因為周圍環繞了寬度淺隘的大陸棚，所以它最深的地方是在中心部分。地球的北極，就是在深海中。

以上說到的，是關於海底地形最重要的階層。但在同一階層上的地形，仍是錯綜複雜的。以大陸棚為例，它的深度，一般是由海岸向外逐漸加深，却不等於說，它就沒有凸凹的地方，恰恰相反，大陸棚上的地形是極複雜的。在那裏有隆起的海礁和淺灘，是航行危險的地帶。在那裏，也有低窪的海谷和海穴，是游泳時特別需要警戒的地方。此外海洋凸出的部分，還有海嶺、海峯、海台等等；凹入的部分還有海槽、海溝、海渠等等。顧名思義，它們是和陸地上的種種形狀，相去不遠的。

### （三）海 與 洋

在上面，我們總是將海和洋列為一談的，究竟海和洋有沒有區別呢？至少在目前，我們還沒有一道嚴格的界線，來劃分和區別什麼是洋？什麼是海？按照海洋科學上所公認的說法，海和洋大致是這樣來區分：凡是水域面積特殊廣大的，而在這廣大的水域裏，有它獨立的水流和水文系統，在它上面，也有獨立的氣流系統；並且這樣的水域裏的水，可以和其他水域裏的水，完全自由相通的，就稱之為“洋”。假使不是同時具備上面所說的幾個條件的，就稱之為“海”。顯而易見，這樣的區分是相對的，也是比較而言。到今天，海洋科學家們對海洋區分的意見很紛歧，也就是對“海”和“洋”的稱呼解釋，還不能完全一致。同一水域，有人稱它為北極海，也有人稱它為北冰洋，這表示了海洋科學家們對海和洋的區別，有着不同的看法。

有些海洋科學家們認為，地面上只有太平洋、大西洋和印度洋三者才稱得上“洋”，其餘的都只能稱作“海”。可是蘇聯先進的海洋科

學家們却有着獨到的見解。因為他們對北冰洋的研究最卓著，對它的瞭解也最深刻，認為北冰洋也合乎上面所說到的稱為“洋”的條件，應該將它與上述三大洋並列，合稱四大洋。至於國際水文局，却將南冰洋也列入合稱五大洋。而我們認為這種說法不很恰當。因為我們知道，南冰洋只是一個被厚厚的冰山所覆蓋的大陸而已，因之稱它為“南極洲”，更要恰當些。還有將太平洋和大西洋分為南北（因為二者都縱貫南、北二半球），再加上印度洋，北冰洋，南冰洋稱為七大洋，我們認為也是不恰當的。

按照蘇聯先進科學家的區分，把地面上的海洋分為四大洋，它們的面積是：

大洋名稱	面積	
	100 萬平方公里	百分比 (%)
太平洋	179.7	50
大西洋	92.4	25
印度洋	74.9	21
北冰洋	14.1	4
海洋總面積	361.1	100

這樣看來，太平洋的面積，正好是海洋總面積的一半。上面又曾說過：海洋面積是地球總面積的 10 分之 7，所以太平洋的面積，竟要佔到地球總面積的 3 分之 1 以上，比陸地的面積還要大不少呢！

還需附帶說明的，上表所列四大洋的面積數字裏，同時也將它們的附屬海面積也包括在內。比如祖國的四大海——渤海、黃海、東海、南海，在海洋科學上，稱為太平洋的附屬海，因此它們的面積，也都併進太平洋的面積裏面。

海洋學上所說的“海”，有它一定的條件：它必須是整個地或部分地與大洋相通的。一般的地理教科書上，把面積廣大的鹹水湖也叫做海，如祖國的青海，蘇聯的裏海。但在海洋科學上，這種鹹水湖的水域，是不包括在內的。

海洋學上的海，一般可分為兩大類型。第一種類型是位在大陸的邊緣，和大洋是直接地、全面地相通的，它們和大洋的分界線，也常常是不十分明確的。普通是用連亘的羣島和深度線來分界的。這類的海稱為“邊海”或“緣海”。祖國的四大海，就是這種類型的例子。另一種類型，是位在大陸的中間，或在幾個大陸之間，它們不是直接地、全面地與大洋相通，常常是用一狹窄而淺隘的海峽與大洋相通。這類的海稱為“地中海”或“內陸海”。位於歐、亞、非三洲間的地中海，就是這種類型最顯明的例子。歐、亞之間的黑海，也屬這一類型。

海和洋的意義，雖有這些區別，但我們也不能機械地來看。事實上，在海洋科學上有時海、洋兩字並用不分。比如說：不論是海裏的水，或洋裏的水，一般都通稱為海水；而海、洋的底層，也都通稱為海底，沒有人稱為洋水和洋底的。

#### (四) 四大洋海底地形的主要特色

前節說的是海底地形的一般情況，現在，我們再將四大洋海底地形的主要特色，簡略說明一下。

太平洋是世界上最大、最深、也是最古老的大洋，它在地形上最顯著的特色是：

1. 深海溝特別多 據我們現在所知道的，世界海洋裏，深度大於6,000米的深海溝，還不到20處。但在太平洋裏的，竟有12—3處之多，而也是深度最大的。前面提到的菲律賓海溝和日本海溝，都深達10,000米以上，其他深度在9,000米以上的深海溝，還有三、四處。太平洋裏深度最小的深海溝也在7,500米以上，比印度洋裏最深的深海溝還要深些。除了太平洋，其他三大洋的深度，據我們現在所知道，都沒有超過9,000米以上的。

2. 羣島弧 太平洋地形上的另一特色，就是有羣島弧的存在。從世界圖上可以看出，在太平洋的西部（歐亞大陸的東岸）就有着一個最明顯的羣島弧。它是由最北的堪察加經千島羣島，日本諸島，又經琉球羣島，台灣，然後經菲律賓羣島而南，最後到南洋羣島。這是

規模極大的羣島弧。南北連亘數千里，把整個西太平洋和它的附屬海，劃上一條清晰的界線。在這羣島弧西面的諸緣海，深度一般很小，而羣島弧東面的大洋，深度却特別大，上面說過的日本海溝和菲律賓海溝，就緊隣着這羣島弧。下圖就是這樣羣島弧的一個典型的例子。

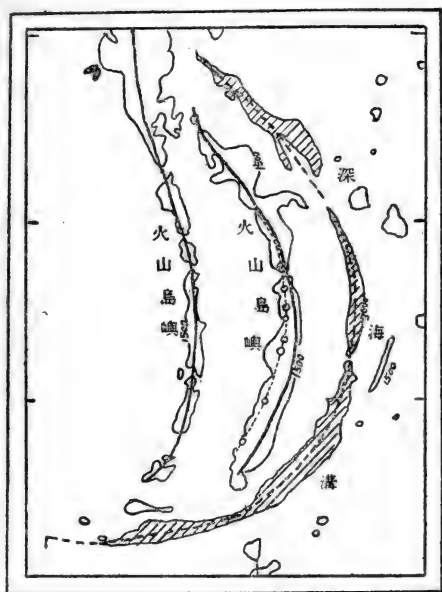


圖6 羣島弧

這種羣島弧的凹面，普通是兩列火山島嶼。它們有的露出海面，有的不露出海面，至今，仍不時有火山爆發。羣島弧的凸面，則是一條深溝，太平洋的深海溝，便是多半位於這一地方。

除了西太平洋的大羣島弧以外，在北太平洋的阿留申羣島弧，也幾乎橫貫了整個太平洋的北端。它的結構，也和西太平洋羣島弧相同。凹面是阿留申火山羣島，凸面是條深溝。

3. 島嶼特別多 在西太平洋裏，大小島嶼，星棋羅布，也可說是太平洋的一個特色。它們的名字有些是我們常常聽到的，像馬紹爾

羣島，馬里亞納，加羅林羣島。這些島嶼在第一次世界大戰前，屬於德國。第一次大戰後，由前國際聯盟委托日本（赤道以北各島嶼）和美國（赤道以南各島嶼）統治。第二次大戰以後，它們完全被美帝據為私有。除了上述三大羣島外，位在西南太平洋的夏威夷羣島，也是由大大小小千百個島嶼組成。並且除露出海面的、看得到的部分以外，這些羣島裏，還有無數沒露出海面的，它們距海面的深度，都在700—800米左右。海洋學上稱它們為“海山”，這些深度相似而都呈平頂的海山羣的成因，迄今是海洋學家們極引為興趣的事。

大西洋 大西洋地形上最大特色，是它的中央部分有一顯著的隆起，北起冰島，南到南極圈。除赤道附近，略有間斷外，縱串大西洋南北，綿延達8,000哩左右。海洋學上稱這一隆起為“大西洋海脊”。海脊的平均深度在2,000—3,000米之間，即是說，比它兩側的深度，要高出1,000—2,000米。有的地方，海脊隆起特高，成為海嶺。也有露出海面，成為島嶼的。大西洋海脊位在歐非兩洲和南、北美洲之間的大洋中，形狀略如“S”，形成大西洋東、西兩大海盆。

印度洋 印度洋位在歐亞大陸之南。在赤道以北的面積較小，絕大部分都在南半球，這和上面所說太平洋和大西洋，都是縱貫南、北兩半球的情況不一樣，可以大致地說，印度洋是南半球的大洋。關於印度洋的海洋調查資料，今天還比較的少，以前，人們總以為印度洋的海底地形，是十分簡單的。事實上，據近幾十年來調查結果，發現印度洋裏，也有一條和大西洋海脊規模相仿的弧形大海脊，把印度和南極，幾乎連起來了，將印度洋分成東、西兩大海盆。東海盆較深，並有幾條相當深的深海溝；西海盆較淺，並有很多隆起的地方。非洲東部的大島——馬達加斯加島，就是由於隆起露出海面而形成的一個島嶼。

北冰洋 衆所週知，今天我們對北冰洋的知識，是和蘇聯社會主義的黨和政府對科學事業的關懷，以及蘇聯先進的科學家們堅苦卓絕的工作分不開的。在嚴寒的北冰洋作調查工作，最是艱苦無比的。在沒有蘇聯先進的科學家們調查工作之前，只有極少數的探險家如



挪威的南生等，爲了個人的好奇，也曾冒着艱辛，跑到北極去探險。所以，直到前一、二十年爲止，人們對於北冰洋的認識，只限於一些少數冒險家們一鱗半爪的片斷報道，而對北冰洋的全貌，茫然不知。由於蘇聯政府、人民和科學家們對北冰洋的調查研究工作，所作的不懈地努力，不但幫助國家打通了北海航路，而且對於北冰洋漁業資源的掌握，也起了很大的作用。近年來，人們對於北冰洋的認識，隨着蘇聯“北極號”漂流觀測站，不斷地向前推進了。到前一、二年，該號抵達和地球的北極相去不到100哩的北緯 $88^{\circ}54'$ 的地點，這種輝煌的成績，即使以前最勇敢的冒險家，也難想像得到。

根據蘇聯先進科學家們調查的結果，指出了北冰洋的中心，是一個廣大的深海盆。北極附近地方的深度，達4,000米以上。最大的深度，現已測得的是在5,000米以上。下圖指明的，是北極附近海底地形的一角。

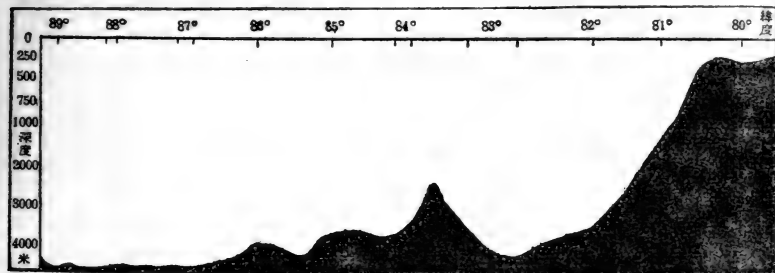


圖7 北極附近海底地形

前面曾經提到，北冰洋的周圍，是環繞着寬度極廣的大陸棚的。在西伯利亞海，這種大陸棚最寬者，達800公里以上。無疑地，是世界海洋中最廣大的大陸棚。

北冰洋和大西洋是相通的，它們之間的通道是在格陵蘭——冰島——蘇格蘭之間的幾個海峽，它們的深度，一般只有300—600米。靠着這些海峽，一面將大西洋裏溫暖的海水，帶進北冰洋，一面又將北冰洋寒冷的海水，輸入大西洋；這些寒冷的北冰洋海水，常常

挾帶着大量的流冰，當它流經格林蘭附近時，又挾帶上大量由陸地上冰河破裂而成的冰山，它們成爲北大西洋航行上的極大威脅。

北冰洋和太平洋的通路，只是一條狹而且淺的白令海峽。它的寬度只有 58 公里，深度只有 50 米。

從前面的圖 2 中，我們可以看出，所有縱穿南北的經線，在南、北兩半球上都交匯在一點。因此，不難想像，從蘇聯首都莫斯科，到美國首都華盛頓的空中距離，也以通過北極的航線爲最短。由於美帝的處心積慮地準備侵略戰爭，一些好戰份子，還瘋狂的叫囂着原子戰爭。蘇聯政府和人民，提高警惕，防禦侵略，對北冰洋的重視和研究，在鞏固國防的意義上，是特別重大而且非常必要的。

### (五) 海洋底層的沉積

凡是到過海濱的人，一定可以看到在海灘上，有着各種各樣，大大小小的沉澱物。一般在距岸最近的地方，沉澱物也最大，多半是些石子，有時還有很大的岩塊。向外一些就是沙子，大多數的海灘也是沙灘。沙粒的大小，普通也是由岸向海，逐漸減小的。有些地方，在低潮的時候，海灘的前緣，可能也看到些泥沙混合的微粒，甚至更有完全爲泥質的。現在就要問了：這些沉澱到底是怎麼來的呢？在深海底層又有什麼沉澱呢？

大體說來，海底沉澱的來源，有下述五種：

(1) 陸地性沉澱：當海浪沖擊着陸地時，常常會看到岸邊陸地上的石子，甚至很大的岩塊，遭受到海浪的破壞，而被沖進海裏。這種由海浪破壞了的岩塊石子，體積大些的就沉澱在岸的附近，體積愈小的就被海浪搬運得愈遠。這便是距岸愈遠，沉澱物愈小的一簡單理由。其次，由於流水的侵蝕作用，河流裏面帶着大量的泥沙，這種泥沙，最後也向海洋裏面搬運。還有，風的搬運力，也是大得驚人的。如在我國的北方，冬天和春天西北風將大量的黃土，從西北吹向海裏，黃河和華北許多河流，入海時都挾帶着大量的泥沙，再加上西北風所挾帶的大量黃土，它們將海水染上了一層淡黃色，這就是祖國黃

海得名的由來。除了風的搬運，有時能達到很遠之外，一般由海浪及河流移來的沉澱物，都在離岸不遠的地方就沉澱下來，因此陸地性沉澱的分布，一般只限於近岸的地方。

(2) 陸上或海底火山的噴出物：我們要知道，無論是陸上或海底，都有火山的存在。陸上火山噴出物，大都曾經經過風化作用，最後沉積在陸地，再經流水作用，運到海裏。其中一些細小的微粒，也可能由風運送到海裏去。火山噴出物的種類很多，大小也不等。大的像浮石，能在海水中漂浮一相當長的時期。稍小的有溶岩碎片，火山玻璃。最小的是極細小的微粒，這種微粒，有時會在空氣中，圍繞地球幾圈，最後再沉澱下來。海底火山的規模，有時大得令人吃驚，因此沉積物也特別多。甚至有的高出海面之上形成火山島。海洋中有許多這種火山島，常常分布在海水很深的地方。

(3) 由生物遺體所造成的細泥：在海底沉積中，最驚奇的一件事，就是覆蓋在大部分海洋底層上的沉澱，既不是由陸地搬運而來的大量泥沙；也不是由巨大火山所噴出的各種火山噴出物，却是微細的海洋生物遺體所堆積而成的極微細泥。可以說，絕大部分深海或大洋底層的沉澱，都是由這種海洋生物的甲殼或骨骼所造成。組成這種海洋生物的種類很多，但最主要的，只有三、四種。它們的個體，都小到我們的肉眼看不清，只有在顯微鏡下才辨別出來。由於海洋裏生活着無數的這種微細生物（有動物，有植物，其中動物尤為重要），在它們死去後，不易腐化的甲殼及骨骼，便以很緩慢的速度，沉入海底，經過幾千萬年，日積月累地終於成為很厚的沉積。可以想像得到，這種沉澱的速率，是非常迂緩的。據研究結果，每千年的沉澱的速率，多在1厘以下。也就是說，沉澱1米厚的沉積層，需時10萬年以上。在大洋底層，有些地方的這種生物遺體的沉積，據探測和估計，竟有在幾千米以上的。那末，這些沉積所需年代的長久，就完全可以想見了。

(4) 無機性沉澱和宇宙產物：這兩種沉澱，和前面三種比較起來，在海底沉積物中，要算為量很小的。但也不等於說，它們沒有重

要性。無機性物質在海底的沉澱，一般是由於海水中化學作用的結果，但有時也可因海水中的溫度，酸度和二氧化碳等等變化，及生物作用而引起的。比如說為重工業原料基礎的兩種鐵礦——黃鐵礦和白鐵礦，便是一種無機性沉澱。它們的沉澱是因化學作用而起的，它們大部成固結狀態。在有硫化二氫存在的地方，因還原作用，形成了硫化鐵，這便是黃鐵礦和白鐵礦的來源。

所謂“宇宙產物”這四個字的意思，是說這些產物的源地是地球之外的宇宙。前面講的幾種沉澱物，雖然它們有的來自陸地，有的是火山的噴發，有的源於生物遺體，但總的來說，它們的源地，是在地球本身之內。而宇宙產物就不同了，它們是從地球外面落到海洋裏的沉澱物。宇宙產物在海底的沉積，為量極小，速率更是極慢的，它們不可能是構成海底沉積物的主要部分。其中最常見的有黑色帶磁性的小圓球，是鐵或鐵的合金所組成。有棕色結晶體，類似隕石，含有矽質，常呈金屬光澤，表面帶有彩紋。這兩者都是很細小的沉澱物，直徑在半個毫米之下。

## 二. 海水的鹽分和化學性質

### (一) 海水怎麼會是鹹的？——海水中所含的鹽分

提到海水，就會令人立刻想到：“海水是鹹的”。大家也都知道，這是因為海水中含有鹽分的緣故。事實上，人民大眾每天都離不了的食鹽，就是從海水裏來的。

但，如果我們追問一下，為什麼海水會鹹，而江、河裏的水，却是淡的呢？是不是江、河水裏就不含鹽分呢？根據科學家們精細分析的結果，告訴我們：江、河水裏也同樣含有鹽分，不過含量微小罷了！

分析的結果指出，每一公斤大洋海水中，平均含有35克的鹽分（海水中固體物質的總稱），這就是說：大洋海水的鹽分是千分之三十五（3.5%）左右；而河水中所含鹽分，一般都在千分之三以下。這樣看來，河水所含鹽分，要比海水小到一、二十倍以上。究竟海水裏這麼多的鹽（即這樣高的鹽分）是怎麼來的呢？難道海水生成就是這樣鹹的嗎？為了解答這兩問題，有必要首先談談，“海水究竟是怎樣造成的”這一問題。

據科學家們的計算，海水形成迄今，大約已有1—10萬萬年左右的歷史了。人們當然無法知道幾萬萬年以前的事，到今天，科學家們對“海水是怎樣造成的”這一問題在理論上的看法，主要有兩種學說：一個學說認為：在地球形成之初（大約1—10萬萬年左右以前），有一段時期內，整個地面上，年復一年地，繼續不斷地，下着大雨，一直下了幾千年，幾萬年不停。這些落到地球表面上（不論陸上或海上）的雨水，終於匯集在地面上低窪的地方，便是今天汪洋大海的前身。另一個說法，認為海水的主要來源，是由於地殼內部所噴出的岩漿內的大量水分，凝結而成。主張後一學說的科學家們說：在地球形成之初（時間和前說大旨相同），地殼很不穩定，那些火山噴出物中，含有很

多很多的水蒸汽和岩漿水，它們噴出地面以後，凝結成水，匯集到低窪的地方，便成爲今日的汪洋大海。

兩種說法，對海水成因的解釋，完全不同，究竟誰是誰非，現在還不能斷定。不過，有一點是兩個學說一致確定的，那就是海水在形成之初，它所含的鹽分，決不像今天海水裏的那麼高；就是說，最初的海水沒有今天這樣鹹。那末，又是什麼作用，使海水的鹽分增高了呢？

對於這個問題的解釋，科學家們的意見，却是完全一致的。大家都肯定海水裏的鹽分增高，是由於海水經過長時期（幾萬萬年）不斷地大量蒸發的結果。海水蒸發會使鹽分增高，可以用實例證明。我們祖國沿海各晒鹽場晒鹽的經驗，就是一個最具體且最明顯的例子。“鹽是怎樣晒成的”？到過鹽場的人就會看見。一般晒鹽的辦法是：先把海水納入溝內（在華北有些地方，稱爲“納潮”，每個月有兩次潮汛期，每一潮汛期，一般從水門納進7—8天的潮水），一般用風車將溝裏的海水，再拉進鹽田，讓海水在鹽田裏蒸發（當然全部過程是相當複雜的，但主要作用便是蒸發）。結果，海水裏的水分，化爲水蒸汽而消失，鹽分留了下來。因之，蒸發的時間愈久，餘留的鹽分比例也便愈高。同樣道理，汪洋大海中的海水，經過了1—10萬萬年這麼長久時間的蒸發結果，它所含的鹽分，也必然比當初形成時要增高得多了。

鹽田裏的海水，最後可以完完全全蒸發掉，因此成粒的食鹽結晶出來，試問，海水也有因蒸發而枯竭的一天嗎？我們可以斷然的回答，那是絕不會的。這倒不是因爲海水的量大，却是由於蒸發消散的海水，經過水汽循環之後，又以雨水和河水的流入來補充了。資料證明，至少是有史以來，汪洋大海裏海水的總量，大體上是保持平衡不變的（從地球的歷史看，海水的總量有過一些變化）。每年由地面上全部河流注入海洋的河水，據估計所得，約爲海水總量的4萬5千分之1，同海水的總量比較，這點水量，當然微不足道，但是在保持海水總量的平衡不變這一點上，却具有重大意義。

這樣，問題又發生了。蒸發固然可以使海水裏的鹽分增高，但雨

水及河水的注入，豈不要使海水裏的鹽分沖淡降低嗎？上面剛剛說過，海水每年由蒸發失散的水量，和由雨水及河水注入的水量，大致是相等的。那末，這兩種使海水裏鹽分增減具有相反的作用，不正好互相抵消了嗎？那就是說，海水裏的鹽分仍然應該不變才對。這種想法，初看起來，似乎有道理，但仔細考慮一下，却似是而非。理由在：蒸發掉的海水，的確完全是不含任何鹽分的水分，而注入的河水，却多少含有微量的鹽分，因此兩者雖近似却不相等，也正因為有了這一點點差別，年長日久，形成了今天海水鹽分的增高。所以，歸根結蒂，我們可以說：海水裏鹽分的來源，是因為注入海洋裏的河水中，溶解有陸地上各種的礦物質，經過1—10萬萬年長期的蒸發，它們的含量增高了，成為今天海水裏的鹽。海洋裏所含鹽分的總量，當然是無比巨大的。也許有人懷疑：陸地上各種礦物質中所含鹽分有限，即使全部被溶解，完全輸送到海洋裏，也遠沒有海洋裏的鹽那麼多呀！事實是這樣：地球的發展演變，是幾經滄桑的；也就是說，無數次地高山被侵蝕成平地，却又因造山運動，又無數次地把平地甚至海洋造成高山，便是這樣，陸地上的鹽分，成年累月地，持續不斷地向海洋輸送，經過了1—10萬萬年的悠長歲月，海洋裏含有巨量的鹽就不足為奇了。所以有人說：“海洋是陸地上所有礦物質的聚寶盆”，那是確實的。講到這裏，我們算把“海水究竟是怎樣來的”這一問題大體解釋了。

至於海水與河水所含鹽分的差別，還不僅在它們含量的多少，就以它們所含鹽分的組成上來說，也有着很大的區別，請看下表：

組成成份	氯化物	硫酸鹽類	碳酸鹽及其他
海水	88.6%	10.8%	0.6%
河水	5.2%	9.9%	84.9%

表中的氯化物，就是我們每天食用的有鹹味的食鹽。純粹的食

鹽，應該是氯化鈉，但上表中的氯化物，除了絕大部分是氯化鈉外，還含有其他雜質，譬如食鹽中略帶苦味的那一部分就是氯化鎂。

從上面的簡表裏，可以明顯看出，海水和河水所含鹽分的組成，迥然不同。特別是：河水裏“碳酸鹽及其他”一項的含量很高，而海水裏却含量微少，這又是什麼緣故呢？海水裏的碳酸鹽類到那兒去了呢？這當然不能用蒸發作用來解釋。科學家們研究的結果，所得的結論是：海水裏碳酸鹽類成分的減低，和棲息在海洋裏的生物有關。因為棲息在海洋中的生物——特別是大量的浮游生物，它們在構成軀體時，得從海水中攝取碳酸鹽類（絕大部分是碳酸鈣），因此海水中碳酸鈣的消耗量也就特別大。並且直等到生物死亡後，它們的軀體腐化，生前從海水中攝取的各種物質，絕大部分，經過化學作用，又回到海水中。這樣看來，生物的滋長，它們對海水裏鹽類的總量來說，是沒有多大影響的。可是，由碳酸鹽類所構成的生物的甲殼和骨骼，在海水裏是不易溶解的，也不容易起化學作用。因此，生物死後，這種碳酸鹽類沉積海底，形成海底的沉澱物。前講談到海底沉積來源時，我們還提到過，由這種生物遺體所造成的海底沉積，有時厚達幾百，甚至幾千米。它們的形成，就依靠海水裏的碳酸鹽類，這麼一來，海水裏所含碳酸鹽類的成分，自然就要大大降低了。

從上表，我們還可以看到，海水裏的鹽分，主要是由於氯化物（氯，鈉），硫酸鹽（鎂，硫）及碳酸鹽（碳，鈣，鉀等）三者所組成，但這不等於說，海水裏的化學元素，只此六、七種而已。據科學家們分析的結果，已經知道海水裏的元素，共有44種之多。不過，除了上述6—7種元素外，其他元素都含量極微。這使分析和測定，發生一定的困難，但由於化學分析方法的不斷改進，海水中所含元素的種類數目，一定還要陸續增加。我們熟悉的一些化學元素如金、銀、銅、鐵、鉛等，都已從海水中分析和測定出來。並且，曾有過科學家想從海水裏提鍊出金子來，却因含量太少（據分析結果，海水中金的含量為每一公噸海水含金百萬分之六克），提取時所耗成本太高，不切實際。但科學技術是在不斷地前進着，我們可以相信，將會有一天，人們能從



海水裏，把含量極微的元素，合理地、有效地提煉出來，以供給人民大眾充分的利用。鎂，在海水中，是僅次於氯和鈉而居於第三位的重要元素；它的性質和用途，與鐵相近。同時，由於地面上鐵礦蘊藏量在逐年降低，就引起一些科學家們，對於如何來提出並利用海水中的鎂元素的問題，予以極大注意。碘元素在海水中成分很低，但對人類有着密切的關係，人體缺少了碘分，就容易患特種的疾病——大頭頸。我國內地，患大頭頸者特多，就是因為食用井鹽，裏面缺乏碘元素的緣故。在海洋生物中，紫菜攝取碘的能力最強，它所含的、可為人所吸收的碘元素也最高，所以我國內地食用井鹽的人們，多吃些紫菜，以彌補碘元素的不足，對健康是有益的。

## (二) 所有的海水都是一樣的鹹嗎？

### ——海水裏鹽分的分布

上面我們說到過大洋裏海水的鹽分，約在千分之35左右，平均說來，那是對的。但具體來講，海水裏的鹽分，往往因外界情況的不同，在時間上和空間上(地點上)都有所改變。一般在大洋裏，變化比較小，而在近海地方，變化比較大些。

影響海水鹽分變化的兩個主要因素是：蒸發和降雨（及河水）。前面談到過，蒸發作用可使海水中鹽分增高。世界各海洋中，以紅海的千分之四十和地中海的千分之三十九為最大，那就完全因為蒸發強烈的緣故。降雨對於海水中鹽分的影響，恰巧和蒸發作用相反，假如那裏降雨特別豐沛，那裏的海水就特別淡些。歐洲西北部，終年降雨，因而波羅的海裏海水的鹽分，最低時只有千分之一、二，是公海裏面海水鹽分最低的。不但這樣，即使同一地方，也會因為四季降雨的多少不同，海水的鹽分隨之發生變化。祖國的東海，和日本南方近海，在6—7月的黃梅雨季節，就因降雨特多，表面海水的鹽分，有着顯著的降低。再有在河水流入的地方，海水鹽分也會減低，道理很容易明白，凡是大河流入海的地方，那兒海水的鹽分也特別低。

既然如此，海水的鹽分和蒸發量成正比，而和降水量成反比，因

此，海水裏的鹽分，便和“蒸發量減去降水量的差額”成正比，下圖指出了這一關係。

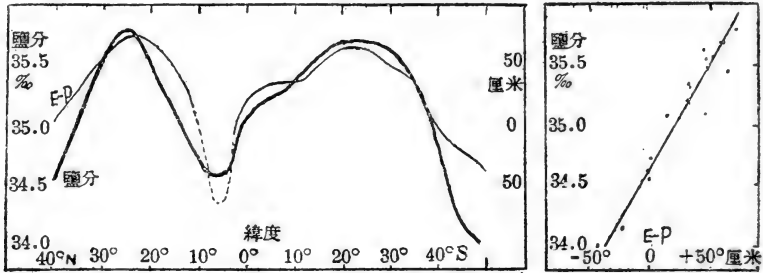


圖 8 大洋表面海水的平均鹽分和“蒸發量減去降水量的差額”之關係  
〔E-P 表示蒸發量減去降水量的差額〕

圖裏顯明的指出：在南北兩半球的副熱帶，蒸發量超過降雨量最大，於是那裏海水中的鹽分也就最大。赤道和高緯度地方的情形，恰巧相反。從上圖，我們還可以看出，大洋海水鹽分的變化，確實是比較小的。

有一件使人奇異的事，就是雖然海水的鹽分，在時間上、地點上有些變化，除了在特殊情況之下：如降雨特多、河口、結冰、融冰等等區域，海水中鹽分特別低些以外；不論近海或大洋，海水中含鹽的分量怎樣，但鹽分中所有主要組成成分的相對比例，可以說完全沒有什麼變化的。因此，如果我們只要知道海水中的某一種成分的含量，就可以按照比例，推算出其他成分的含量。事實上，當我們測定海水的鹽分時，由於鹽分組成的種類繁多，有些成分含量稀少，極難測定。為方便計，我們總是只測定一種成分（最常用的是氯）的含量，再按照已知的比例，來推算海水裏的含鹽量及其他成分的分量。這樣，免不了會有人問：“是什麼作用使鹽分的相對成分能保持不變呢”？至今還沒有一個可以令人完全信服的解說。大多數科學家的意見，認為最重要的原因：是因海水不斷的混合作用，海水是不息地流動着的，又由於海洋中所存在的各種的擾動，而世界各地海水又都是相通的，因此或遲或早，直接間接，各地海水，彼此都有接觸相混的機會。這

樣，便逐漸使海水組成的成分，趨向一致。這一說法，有其道理。但爲什麼，這種混合作用，只能使海水鹽分的相對成分一致，却不能使海水鹽分的含量也趨向一致呢？始終還沒有一個簡單合理的解答。

### (三) 海洋生物最基本的生活資料

#### ——海水中的營養鹽類

海洋裏有着無數的，大大小小的動物棲息着。最大的如鯨類，可以長達數十米，重到數十噸，是地球上最大的動物。小的像某些浮游生物，只有在顯微鏡下，才可看到它們。這些無數的、大小不等的動物，都得有一定的食料，來維持他們的生活。那就要問：供給這些大、小動物的食料，是從那兒來的呢？要回答這一問題，我們必須從海洋生物最基本的生活資料——海水中的營養鹽類來着眼。因爲海洋裏的動物，也和陸上的動物一樣，不管它直接吃的是些什麼東西，歸根結蒂，整個動物界所直接、間接賴以維生的，還是植物。也就是說，動物的食料，最後必是仰給於植物。因此，爲了明瞭海洋中的生物界如何維持生命，就必得從海生植物的營養料來着手。

衆所週知，陸地上只有綠色植物才能利用太陽的光和熱，攝取無機營養鹽類，來製造有機物質，這便是陸地上生命循環的第一個環節。海洋植物中最大部分是浮游植物，它們雖然不完全是綠色植物，但它們的身體內部，含有帶色素的質點，這種質點的作用，和綠色植物的葉綠素的作用相同，也能利用太陽的光和熱，攝取無機營養鹽類，創造出有機物質來，以維持海洋中的整個生物世界。究竟這些海洋生物，最需要什麼營養鹽類來維持生活呢？毫無疑問，植物賴以維生的營養料，也是多種多樣的。不過，根據科學家們研究的結果，指出植物生長所必需的幾種營養鹽類，是按照一定的比例吸收的。那就是說：植物所需的養分裏，如某種養分存在的數量，超過它的需要時，多餘的部分，它並不利用；反之，如某種物質數量不足所需時，植物的生長就要受到影響。因此，某些最小量的物質，却在植物的生長上，具有控制或限制的作用，這項規律，稱爲“限制法則”，或“最小法

則”。據研究所得，海水中的無機鹽類，對於海生植物具有限制作用的有：各種氮化合物，磷酸鹽，和矽酸鹽三種。這三種無機鹽在海水中的含量雖小，但它們却能起很大的影響。

1. 氮化合物 植物，不論陸生或水生，都需氮化合物為養料，這一點是相同的。對於一部分的陸地植物——農作物，人類可以用施肥（天然肥料，肥田粉等的主要養分，便是氮化合物）的辦法，來幫助植物從自然界攝取氮化合物的不足。海洋植物就享受不到人工的施肥了，那麼它們所需要的氮肥，是從那兒來的呢？根據化學家分析的結果，被海洋植物所攝取而成為它們養料的氮化合物是：硝酸鹽（ $\text{NO}_3$ ），亞硝酸鹽（ $\text{NO}_2$ ）和氨鹽（ $\text{NH}_3$ ）三種。它們的主要來源，是靠着（1）由陸地上流入的河水，特別是從都市所排出的污水，那裏面氮肥的含量最豐富；（2）海洋中動植物屍體腐化時蛋白質的分解；（3）海洋中也存在和陸上荳科植物具有同樣作用——即氮固定作用的一些細菌，它們能將海水中游離的氮固定起來，為植物所吸收。在某些地方（特別是寒流中），這種細菌繁殖很多，它們的作用，不容忽視；（4）雷雨時，空中放電，也固定了一部分游離的氮，成為氮肥，隨雨降到海洋中，被海洋植物所攝取，這以赤道地方最顯著。由這種種情況而來的氮化合物，為海洋植物所吸收後，藉光化作用，便構成生命中最最重要的蛋白質，這就是海水中氮化合物最主要的消耗（但也有一小部分的氮化合物，由於脫硝細菌的作用，將它分解成游離的氮）。生物死亡後，蛋白質又再分解而成各種的氮化合物，就因動植物的這樣生長死亡，使海洋中的氮化合物，永遠不息地循環着。關於這點，我們以後還有機會談到。

植物的光合作用，必須在有太陽光線的地方才能進行。一般說來，在海水中，太陽光線所能通過的地方，只有表面極薄的一層（幾十米），因此植物的光合作用，也不得不限於在這一薄層裏。這樣，直接關係到海水中氮化合物的分布。海水表層，由於氮化合物大部被植物所吸收，它在海水中含量必然很少。反之，在海洋深處，因為沒有陽光，不能起光合作用，那裏的氮化合物，便不能被植物所利用，因

此含量，必然比較的多。下圖指出大洋海水中硝酸鹽分布和深度的關係。

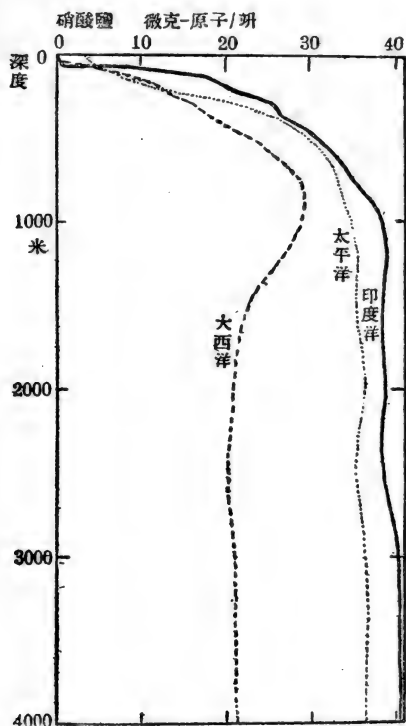


圖9 太平、大西和印度三大洋海水中硝酸鹽的垂直分布

(單位：每升海水中所含硝酸鹽的“微克-原子”數。1微克=百萬分子一克)

表層海水中的氮化合物不斷消耗着，便需要靠深層裏含量豐富的氮化合物來填補。於是問題又提出了：是什麼作用將深層裏的氮化合物帶到表層的呢？這是海洋生物學上一個比較專門的問題。科學家們從研究中得出結論，認為海洋裏，尤其是沿海地方的上升流，對於表層海水裏氮肥的補充，具有重大的作用。所以凡是有着上升流的地方，那兒的海水的營養料特別豐富，因而在那兒的海洋生物也特別繁盛。

另外一點，海水中氮化合物的含量，既是隨海洋植物的生長死亡而增減，所以在同一水層裏，由於四季植物的生長不同，海水裏氮化合物含量，也隨之變化。春、夏兩季是植物最繁殖的季節，因此那時海水裏氮化合物的含量也就特別小；反之，秋、冬兩季，就比較多些。下圖清楚地告訴我們這種變化的情況。

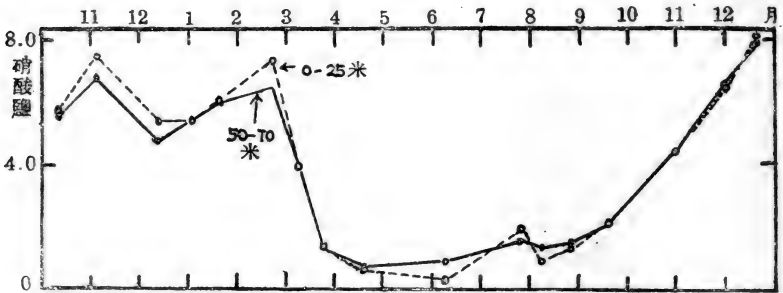


圖 10 英吉利海峽海水中硝酸鹽的季節變化

(單位：每升海水中所含硝酸鹽的“微克—原子”數，1微克=百萬分之一克)

2. 磷酸鹽 ( $\text{PO}_4$ ) 和矽酸鹽 ( $\text{SiO}_2$ ) 從海洋植物生長的限制法則這點來看，磷酸鹽、矽酸鹽是和氮化合物具有同樣作用的。由於海水中磷酸鹽和矽酸鹽含量的不同，大大限制了海洋植物繁殖的範圍。可是從另一方面來看，它們對植物還起了與氮化合物所不同的作用，即是氮化合物是造成生命的基本——蛋白質的原料，而磷酸鹽和矽酸鹽不在蛋白質的製造上起主要作用，只在植物生長過程中，身體上某一部分，非有這種無機鹽類不可。比如，海藻和許多浮游植物，就攝取磷酸鹽來構成它們的身體——矽酸鹽更是矽藻構成骨骼部分所必不可缺的。當矽藻最繁殖的時候，海水中的矽酸鹽，差不多可以用罄，在這時，矽酸鹽所具的限制作用，就非常之大了。換句話說，這時矽藻能繁殖的數量，幾乎完全要看海水中矽酸鹽的含量多少來決定了。這兩種無機鹽類的來源，主要是靠海洋生物遺體的腐敗和分解，也有一部分來自陸地。在海水裏，它們所具有的時間上和空間上的差異，大體上是和氮化合物相仿的。

#### (四) 海洋生物所必需的另一種生活資料

##### ——海水中的溶解氧

地球上的生物，不論是動物或植物，它們在生活中，都需要某種氣體。像植物的光合作用，就需二氧化碳( $\text{CO}_2$ )；動物的呼吸，就需要氧。在陸地上，生物可以從空氣中，取之不盡、用之不竭的來取得它們所需要的二氧化碳和氧。海水中是否也有這兩種氣體？如果有，它們又是從那裏來的？

先談氧吧，科學家的研究指出，海水裏溶解着為海洋生物所需的氧，並且還指出，海水中的溶解氧，主要是從空氣中來的。在海面，空氣和海水直接接觸，一部分的空氣就溶解在海水裏。當波浪擾動作用時，接觸面強烈增加，因之溶解量也大大增加。除了直接從空氣中取得溶解氧以外，降雨和河水注入，也是海水中氧的來源之一。這是因為雨水和河水裏，普通都是含有豐富的溶解氧。就海洋生物本身來說，海洋植物在進行光合作用時，也能放出氧的。由於這些來源，都在海水的上層和表面，因此海水中的溶解氧，也是以上層和表面為最豐富。在一般情形之下，都達到飽和。就是說，在一定的海水溫度、鹽度和壓力的情形下，溶解氧已達到了最大量。在光合作用特別強烈的地方，有時也有過飽和的現象發生。至於海水中溶解氧的消耗，以動物的呼吸作用，和海水中有機物體的分解及氧化為主。海洋裏的動物，也大多分布在海水的上層，那裏正是溶解氧最多的地方，供應是沒有問題的。有機物的分解作用所需要的氧，以在海水中層為最多，那裏氧的供應既少，海水裏的溶解氧，有時可到幾乎完全罄盡的地步。下圖很顯然地指出了這種情況。

和溶解氧的來源相似，海水中所溶解的二氧化碳，也大部自空氣中得來。另一部分，是由海洋動物的呼吸來供應的。海洋生物的遺體，和海底沉澱中有機物質的分解作用，也能放出一部分二氧化碳。它的消耗，主要是海生植物的光合作用。海生植物只能生在海水的表層，所以那裏二氧化碳的消耗量便最多。在海水的底層，沒有植

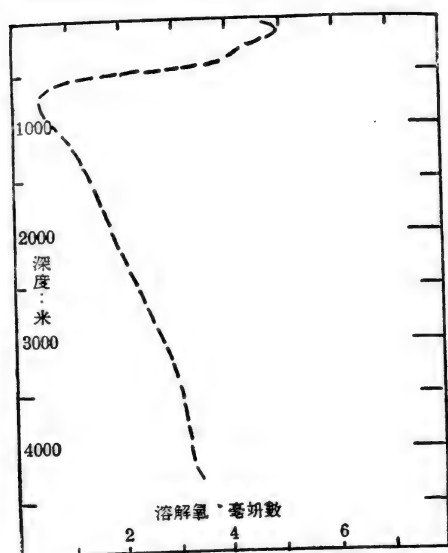


圖 11 大洋海水中溶解氧的垂直分布  
(單位：每升海水中所含溶解氧的毫升  
1 毫升 = 千分之一升)

物，那裏的二氧化碳也沒有消耗，因此它的分布，和氧恰恰相反，是表層少而深層多。

海水中所溶解的二氧化碳，不止  $\text{CO}_2$  一種形式，和這同時存在的，還有不解離的碳酸 ( $\text{H}_2\text{CO}_3$ )，重碳酸離子 ( $\text{HCO}_3^-$ ) 和碳酸離子 ( $\text{CO}_3^{2-}$ ) 各種形式。它們彼此之間，可以因外界情況的變化而互相轉化，保持一化學的平衡系統。所以更確切的說，應該稱它為“二氧化碳系統”，這個系統，在海水化學的某些方面，是起着主導作用的。

在某些特殊的海洋環境裏，特別是水流停滯不動的海底，那裏的海水，含有一種強烈惡臭的氣體——硫化氫 ( $\text{H}_2\text{S}$ )。它的來源，是生物遺體腐敗時蛋白質分解而來，由於那些地方缺乏氧，這種硫化氫無法氧化，便累積在那裏，它對生物是有毒的。因此，海水中凡有硫化氫存在的地方，生物便不能生長。黑海海底是硫化氫含量最豐富的地方之一，它的沉澱呈黑色，這正是黑海得名的由來。

海水中雖也有着含量豐富的溶解氮，但除了有一部分溶解氮被固定細菌形成了氮化合物，以供生物利用外；絕大部分的溶解氮，對於海生生物來說，因為不能利用，所以沒有多大關係，這和陸地上的情形，完全是一致的。



### 三. 海水的溫度及其他物理現象

#### (一) 算一算海水熱量收支這筆總帳

地球上的一切熱量，直接間接都源自太陽輻射熱。對於海水溫度來說，除了太陽輻射熱以外，雖也還有一些其他的熱源，比如海底的海水，就能吸收一部分由地殼內部所傳導的熱量。同時，海水起化學作用時，也能產生一些熱量等等；但這些和太陽輻射熱來比較，簡直是小巫見大巫微不足道，因為它們對海水的溫度，起不了多大的作用，所以只要掌握住太陽輻射熱這一項就夠了。其它的熱源，都可以不必管了。

太陽輻射熱傳達地球後，雖是先到高空，然後到地球表面，但從這種熱量的吸收來說，却是先在地球表面。這是由於這種熱量的吸收，主要是依靠空氣中的水蒸汽，二氧化碳和夾雜在空氣中的微塵。在高空裏，空氣本身是既很稀薄，水蒸汽、二氧化碳和微塵含量更少，因此太陽輻射熱即使通過，也很少被吸收。

太陽輻射熱由熱源傳到海面，得經過複雜的過程。所能傳到海面的熱量，也和一系列的因子有關。簡單的說，可以分成三個步驟：

首先，在大氣最外圈，就是指空氣最上層的單位面積上所受到的太陽輻射熱，和太陽的高度有關。太陽的高度愈大，單位面積上所受的熱量也就愈大。赤日當頭時比夜半三更來得熱，就是這個道理。因為地球有公轉和自轉，所以每一地方太陽的高度，就隨季節和晝夜而不同。對於整個地面來說，即使同一時間，各個地點太陽的高度，也不相同，因此地球上各種氣溫帶和四季晝夜溫度的不同。

其次，太陽輻射熱進入地球之後，到達海面以前這一階段內，因為經過大氣層，太陽輻射就要受到大氣的某幾種作用的影響，蒙受相當的損失。這就是說：有一部分太陽輻射熱，在大氣裏損失了，不能

達到海面。這種損失的多少，又與大氣的成分和所含的水汽、微塵及雲量有關，這也是相當複雜的。

最後到達了海面的所有太陽輻射熱，在到達海面之後，還要有一部分被海面所反射掉。經過這麼多層層的損失，因此太陽輻射量被海洋表面的海水所吸收的，只不過是大氣最上層太陽輻射熱量的一个小部分而已。這些為海水所吸收了的熱量，是使海水溫度增高的最主要也可以說是唯一的熱源。

海水一面吸收太陽輻射熱，另一方面又必然要散失熱量，不然海水的溫度就將繼續增高，那就和實際觀測不符合了。海水散熱的途徑，主要有三：

第一種是海面輻射，這是一種長波輻射〔波長  $4.0 - 120\mu$ ， $1\mu$ （微米）= 100 萬分之一米〕和太陽輻射熱之為短波輻射（波長  $0.15 - 4.0\mu$ ）不同。太陽輻射熱被海面吸收了以後，就起質的變化，即是說由短波輻射熱變為長波輻射熱。這種長波輻射熱的多少，和海面的溫度有關。平均說來，由這種海面輻射所散失的熱量，是海面吸收的太陽輻射熱量 40% 左右。

第二種是蒸發，在上一講談到海水裏的鹽分時，我們曾一再提到蒸發作用，它可以使海水中的鹽分增高。蒸發作用必需熱量，海面上的蒸發量，因不同的時間、地點和海水與空氣的溫度差，海面的濕度以及風力等不同而不一致，就平均而論，海水因蒸發而散失的熱量，等於海面吸收太陽輻射熱的一半之上，是海水散熱的最主要途徑。

第三種是傳導，整個海面都和大氣接觸着，顯然當海水溫度高於大氣溫度時，海水的熱，便會傳導到大氣裏去，使水溫和氣溫完全平衡時為止。這種傳導散熱的快慢，主要看水溫與氣溫的溫差關係，還要看當時海面擾動的情形；擾動愈大，傳導作用也愈快。因這一作用而散失的熱量，約為海面吸收太陽輻射熱的 5%，比前兩種要小得多。

上面說的，是指海面熱量收支的扼要情況，由於這樣的收支平

衡,就使海面的平均溫度,既不增高,也不降低,便和觀察所得的事實相符。但要知道,世界各地海面的溫度,有寒暖之別;同時,海面和深層的溫度,也有不同。接着發生的問題:海水內部的溫度,是怎麼分布和調劑的呢?

## (二) 海水的溫度是怎樣分布的?

如果地球表面全部被海水覆蓋,同時海水並不流動的話,那末海洋表面的水溫,應該和海面所受太陽輻射熱的天文分布相一致;這就是說:海面等溫度的分布,應該和緯度圈(緯線)相平行。事實上,大洋海面水溫分布的輪廓,大體上也就是這樣。尤其在南半球南緯 $40^{\circ}$ 以南,更是相差無幾。

由於海陸分布的不均,盛行風系和海流的存在,對這規律化的海面溫度分布,有一定的影響。下圖能夠很好說明這些因素對海面溫度分布的影響。

從南半球海面的溫度分布要比北半球來得整齊,大洋中間的要比海陸交界地方——大洋邊緣來得規則,我們就容易看得出水陸分布的不均,使大洋海面溫度的分布變得複雜了。

海流對於海面溫度分布的影響,是很顯著的。世界海洋中最大的兩支海流:是西大西洋(北美洲東岸)的墨西哥灣流,和西太平洋(歐亞大陸東岸)的黑潮。這兩支海流,都由熱帶沿着大陸邊緣北流,將高溫度的水,帶到北方去,我們稱它們為暖流。下圖中西大西洋和西太平洋沿岸的等溫線,大體上作南北向,就是受了這兩大暖流的影響。

海洋表面的海水,可以由吸收太陽輻射熱來增高溫度,但實驗證明,海水裏能夠直接吸收熱量的,只有表面極薄的一層。在幾米以內,太陽的輻射熱,幾乎完全被吸收了。

表層以下的海水,既不能直接吸收太陽輻射熱,也沒有其他熱源(關於這點,我們也曾大略談過)。那末,它的溫度又是怎麼形成的呢?這就要靠海水從表層將熱量向下輸導。輸導的方式,主要有兩

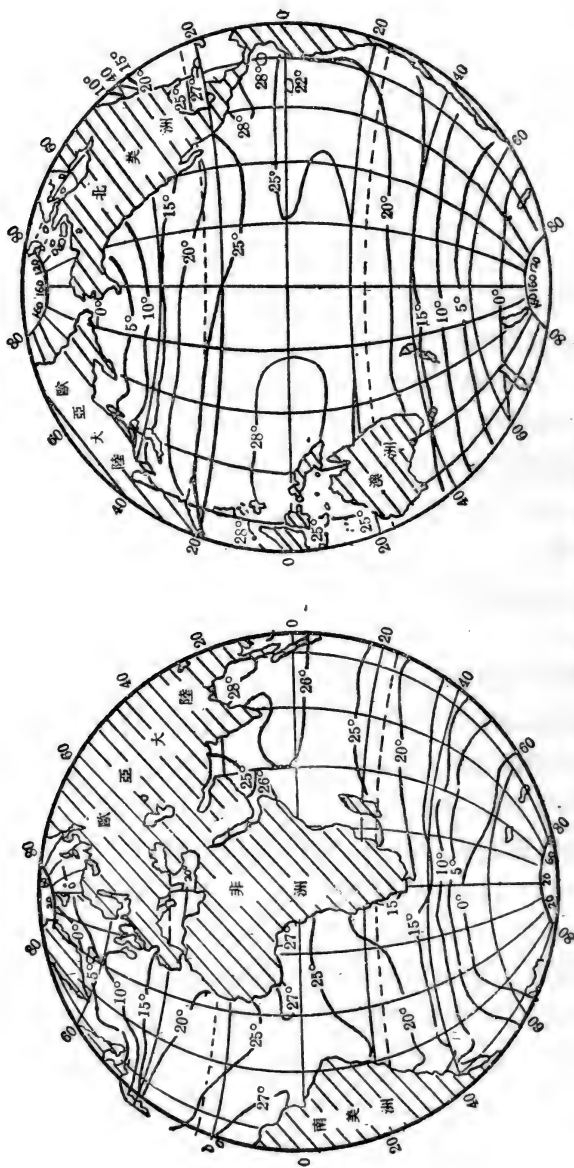


圖 12 海洋表面年平均溫度的分布

種：

一是直接傳導，這是我們最容易想到的，但是由於海水傳導係數很小，因此單靠這個方式來傳熱，不但速度很慢，而且它所達的深度也不大，一般情形，不超過 100 米以外，所以這不能成為海水向下傳熱的最主要方式。另一種更重要的導熱方式是海水垂直運動。這種導熱方式和直接傳導方式的區別是：直接傳導的導熱，海水本身可以不進行運動。而垂直運動的導熱，海水本身必需上下運動着。在海洋裏，海水的垂直運動，引起的原因有二：一是對流性的，是由於某地表面的海水比下面的要來得重（多半是蒸發作用，鹽分增加的結果），這種較重的表面海水會向下沉。當它下沉時，它是帶着它的表面溫度去的，因此它在下沉途中，便和下層海水發生混合，它原有的一部分熱量就分給下層比它冷些的海水，這樣就使下層海水溫度有了增高。另一是擾動性的，表面海水有時不必一定要比下層重些，但因外力擾動（多半是風力所致），也可使上、下層運動而相混合。實驗證明，這種擾動性的垂直運動所引起的混合作用，是海水向下導熱最主要的方式。在日常生活裏，我們經常接觸到這種導熱方式。當我們把熱開水對進盛有冷開水的茶杯裏時，杯中上、下水層很快就可勻和，要是用匙筷在杯中擾動幾下，那末，勻和的速度就會更快些，這跟海洋受擾動而使水層上、下起混合作用一樣。因海水擾動而導熱的深度，最大時可達 200—300 米。在這個深度以下，海水溫度的變化很小。在 1500 米以下，幾乎全無變化。大洋海底的溫度，都在  $+2^{\circ}$  到  $-1^{\circ}\text{C}$  之間，所以，即使在熱帶海底的海水，也是非常寒冷的。

下面兩圖指出了淺海和大洋海水溫度的垂直分布。

在海水溫度的垂直分布中，有一件要提出來注意的事。在某些海盆和大洋之間，以一條隆起的“海檻”相間隔。因之在海檻深度以下，海盆裏的海水是無法與大洋裏的海水相通的；在這種情況時，海檻深度以下，水的溫度是相同的，不因深度而起變化。地中海就是一個最典型的例子，它和大西洋之間的海檻是直布羅陀海峽。最淺的地方只有 320 米，在這深度以下，直到 3,000—4,000 米的海底為

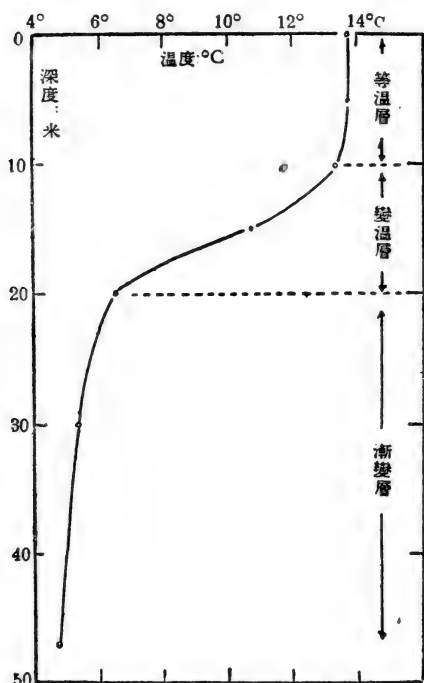


圖 13 淺海海水溫度的垂直分布  
(中國海——5月份)

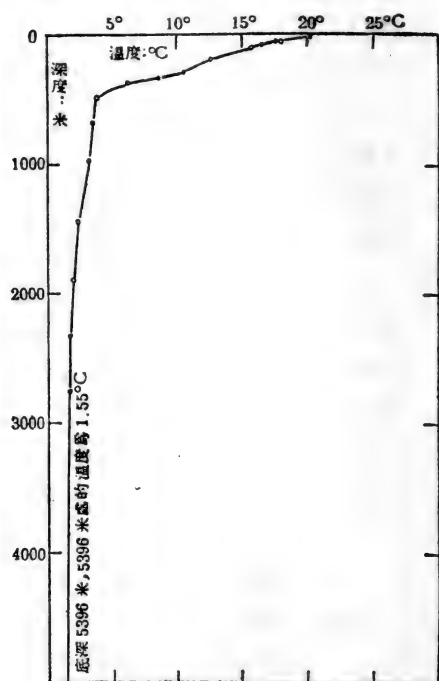


圖 14 大洋海水溫度的垂直分布  
(西太平洋)

止，整個地中海的海水，都保持同一溫度 ( $13^{\circ}\text{C}$ )，這個溫度也正是海檻地方海水的溫度。在另一類海盆，決定深層海水溫度的，不是海檻地方的水溫，而是冬季海盆表面的最低水溫。上述兩個溫度(海檻地方和冬季海面最低的水溫)之中，那個溫度低些，那個就起決定作用。但不管由那一個溫度來決定，海盆深層水溫總是完全均勻如一的。

海水溫度，除了上面所說的因地點上，也就是空間上有變化外，還有時間上的變化，這也是衆所週知的事。海水溫度在時間上的變化，有很顯著的兩個週期：就是日變化和年變化。不難想像，這兩個週期是和地球的兩種轉動——自轉和公轉分不開的。因為這兩種週期的關係，在同一地點各個時間內太陽的高度就不相同；所以地球表

面所吸收的太陽輻射熱，各有不同，這點我們也曾約略提及過。

還必須指出，海水吸收太陽輻射熱而使溫度升高，是需要一定的時間的。因此，無論日變化也好，年變化也好，海水的最高和最低溫度所出現的時間，總比太陽的最大和最小高度的時間，延後一些。以晝夜來說，大家知道太陽高度最大的時間是正午，而海面水溫最高的時間，往往是在下午 2—3 時。這是因為：(1) 海水的比熱大，熱起來比較慢；(2) 溫度增高的前提，在熱量的收支平衡上，是收入(吸熱)大於支出(散熱)，這是一種累積的過程；也就是說需要一段相當的時間累積起來。由海面往下，還需加上熱量輸導的時間，因此延後的時間也更長些。例如：在 30—40 米深的地方，海水最高溫度發生的時間，要比海面再延後好幾小時，一年之中，太陽高度最大的時候，應在夏至；而海面水溫最高的時間，多半要到 8 月或 9 月。表層以下，有時要延後好幾個月。

在大洋裏，海水溫度的日變化，一般都是很小的。最高溫度和最低溫度之差，很少會大於  $1^{\circ}\text{C}$  的。而這種日變化，所能及的深度，一般不超過 50 米。沿海地方，情況却要複雜得多，因此日變化，也就相當複雜。一般說來，變化在  $2-3^{\circ}\text{C}$  以上。在潮流大的地方，因受潮流的影響，日變化可能有半日週期的，也就是說：一天之內，可以有兩個最高溫度和最低溫度。

大洋裏的年變化，當然要比日變化大些。但在熱帶和寒帶的海洋裏，年變化一般也只有  $2-3^{\circ}\text{C}$ 。在溫帶海洋裏，冬夏寒暖相差很大，海面水溫的年變化，有時可達  $10^{\circ}\text{C}$  以上。在寒暖流交會處，最為顯著。沿海地方，海面水溫受陸上影響很大，因之年變化有時大到  $20^{\circ}\text{C}$  以上。祖國的黃、渤海的海面水溫年變化之大就是一個例子。年變化所能及的最大深度，約在 300—500 米左右，這個深度以下，海水溫度，一般就沒有四季的差異了。

從下面的兩個圖裏，我們可以看出海水溫度日變化和年變化的大旨情形。

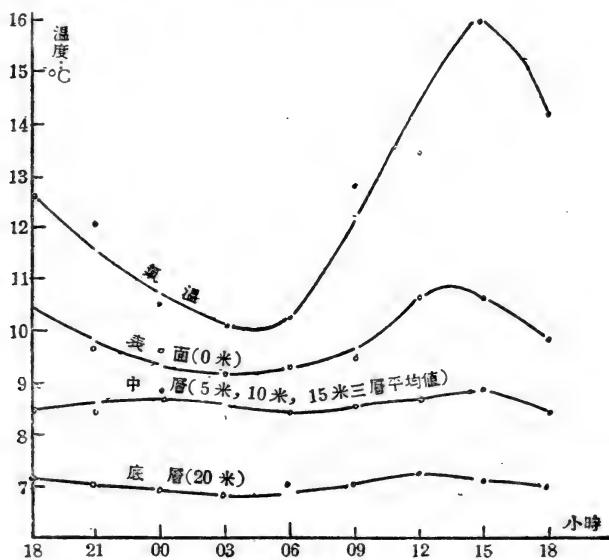


圖 15 海水各層溫度的日變化(中國海——5月份)

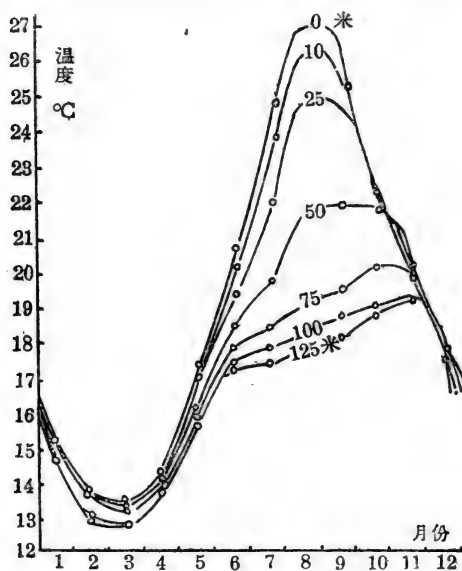


圖 16 海水各層溫度的年變化(西太平洋)



### (三) 海洋——氣候的調節器

上面簡單地談到關於海水溫度的分布，接着，我們要談的是，關於汪洋大海對我們陸地上的氣候，發生怎樣的影響？有人稱海洋為地面上氣候的調節器，這是一個十分恰當的比喻。如果不是有汪洋大海存在的話，真不敢想像，我們今天所生活着的地面上，氣候將是個什麼樣子呢？

海洋對於地面上所起的調節作用，主要有兩個方面：——水汽和熱量。

前面，我們不止一次地提到過海水的蒸發作用，說明它是使海水中鹽分增高的主要原因。可是，海水的蒸發作用，還具有着另外一項重大的意義，那就是它使海洋和陸地上的水汽，得以互相調劑。水汽循環的過程，大家都是知道的。就是水（包括海洋裏的和大陸上的）因蒸發而化為水蒸汽，水蒸汽凝結成雲，降為雨、雪，又轉化成水。這樣往復不絕；便構成了地球表面的整個水氣循環。但是，根據研究而得，如果將海洋和陸地劃分開來，它們各自的水汽循環，是不相平衡的。以陸地來說，每年降雨的數量，要比從陸地上水汽蒸發的量高出3分之1以上，顯而易見，這多出的3分之1以上的水汽的來源，無疑的是海面的蒸發量（就是說：海面上的水汽的蒸發量要比降雨量來得大）。所以可以說，如果沒有汪洋大海的存在，我們陸地上每年的降雨量，就要減少3分之1以上，那就是說，陸地上的氣候要比今天乾燥得多了。

由於海洋和陸地之間熱量的調節，因而導致海陸溫度的調劑，那更是人所週知的。這裏起主導作用的，仍推蒸發作用。上面說過，蒸發作用是海面散失熱量的最主要方式，這種由海面所散失的熱量，要藉各種方法傳向大陸，來調劑溫度。根據海洋表面和陸地表面受熱和冷卻程度的差別，因此籠罩在它們表面的同一個大氣層，就得發生流動。最簡單的情況，就是受熱最快的地方的大氣層，因膨脹上昇，使得那裏的空氣變得稀薄（氣壓降低），於是別處的空氣流了進來補

充空隙，這樣就導致了空氣的水平流動。沿海地區，有海風或陸風，便是這種流動的顯著例子。凡是夏天去過海濱的人，能親身體會到，每當炎暑午後兩、三點鐘以後，海濱常有陣陣涼風吹向陸地。這看似很小的事，却關係很大，因為對祖國氣候和國民經濟有着重大意義的“季風”（東南季風和西北季風）形成的原因，也同海、陸風的成因大同小異，所不同的只是規模大小罷了。這種海、陸風和季風，能起的海、陸氣溫調節作用是不言而喻的。

此外，海洋在調節海、陸溫度上，還有一種很重要的作用。大家不是都熟悉“海洋性氣候”這一名詞嗎？在中、小學地理教科書上，總經常提到這個名詞，有人還能說出這種氣候的主要特徵——氣候溫和。世界上海洋性氣候最顯著的區域是歐洲西北部的英國和挪威等地方。那末，就要問：“爲什麼那裏的海洋性氣候特別顯著呢？”祖國的沿海省區，不也是毗鄰着大海嗎，爲什麼海洋性氣候却並不顯著呢？爲了簡明說明這個問題，首先，我們需要了解海洋性氣候的形成，是和一定的海流系統和風系分不開的。英國和挪威等地，所以具有顯著的海洋性氣候，是因爲：（1）墨西哥灣暖流，從大西洋的西岸，把赤道地方高溫的海水，越過大西洋，一直帶到英國和挪威沿岸地方；（2）同時，也更重要，就是那裏常年不斷地從西向東的盛行西風，使那些地方的風向，差不多終年是從海洋吹過來的，而海水的溫度和陸上比起來要冬溫夏涼，所以海洋性氣候的特徵也是冬溫夏涼——氣候很溫和。轉過來看一下祖國沿海各省，夏季的東南季風雖也是從海上吹來，確有海洋性氣候的氣味，但冬季的西北季風，却是從大陸吹來的，十分寒冷。就因爲這樣，首都北京雖距海不遠，而且緯度遠不及英國倫敦的高，但冬季的溫度，却比倫敦低得多，這便是說，北京在冬季完全受大陸性氣候的影響。但是，海洋性氣候也並不是盡愜人意的。氣候溫和，說出了它好的一面，它還有另一方面——陰霧多雨的特性。提起“倫敦大霧”，恐怕很多人要厭惡哩。

#### (四) 海水也會結冰嗎？——海水的結冰現象

海水會結冰嗎？是的，海水也會結冰的。前面，我們不是一再提到北冰洋和它的冰麼？不過，我們應該曉得，海水結冰要比淡水困難得多。以祖國的情形為例：山東、河北沿海諸省，陸地上的淡水水域，像河水和湖水，冬季的結冰時間都很長，冰層也結得相當的厚，東北的黑龍江，更不必說了。可是渤海灣裏呢？一般僅在隆冬沿岸海水極淺的地方稍有薄冰，這就是一個很明顯的對照。那末，究竟是什麼原因，使得海水結冰要比淡水困難呢？

很顯然地，我們都可以想得到：由於海水中含有鹽分，使它的冰點降低，這樣便使海水結冰要比較困難些。無可否認，這是一個原因，但必需指出，這還不是主要的原因。那末，主要原因在哪裏呢？在解答這一問題之前，我們須要先談一談海水和淡水的冰點以及它們最大密度時的溫度。

純水（蒸餾水）的冰點是  $0^{\circ}\text{C}$ ，最大密度時的溫度是  $4^{\circ}\text{C}$ ，這都是大家熟知的。河水和湖水的冰點及最大密度時的溫度，跟純水稍有不同，但相差不大，因此不妨設想二者相同。當淡水表面因受外界環境影響，開始冷卻，水溫降到  $4^{\circ}\text{C}$  時，表面的水因密度最大（最重）便向下沉，而下層的水被迫而上昇，這樣就發生了上、下的對流作用，這種對流作用一直要進行到上、下層的水溫都達到  $4^{\circ}\text{C}$  為止，此後，表面的冷水便停留不動了。如再繼續冷卻，一到  $0^{\circ}\text{C}$ ，淡水就開始結冰了。這時，表面以下的水溫，仍是  $4^{\circ}\text{C}$ ，這和水生生物冬季能夠繼續在冰底生存，密切有關。如果，河裏或湖裏的冰，一直結到水底，那豈不要把所有水中的生物，完全都凍死了。

海水的情形，和上面所說不一樣。海水的冰點（指開始結冰時的溫度），和它的最大密度時的溫度，並不固定。這得看海水中所含鹽分的多少來定。下圖指出了它們隨鹽分而變的情形。

由此，我們便很容易看出，隨着鹽分的增高，海水的冰點和最大密度時的溫度，都要下降。但它們降低的速率却不一致。當鹽分為

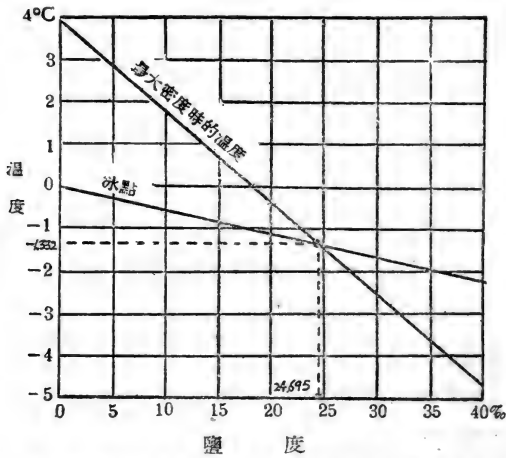


圖 17 海水的冰點和最大密度時的溫度隨海水中鹽分高低的變化

千分之 24.7 左右 (24.695) 時, 它們都是  $-1.332^{\circ}\text{C}$ , 在這一鹽分之上 (前面曾說過大洋中海水的鹽分為千分之 35 左右。即使近海海水, 除了河口及特殊情況的一些地方以外, 很少在千分之 24.695 以下的。) 最大密度時的溫度, 都在冰點以下, 即是說愈冷也就愈重。這樣, 當海面冷卻時, 冷水也是繼續下沉, 但必須要等到上、下層所有水溫, 都達到冰點 ( $-1.332^{\circ}\text{C}$ ) 以下, 表面再繼續冷卻時, 才能開始結冰。這和上面談到的淡水, 只需表面水溫達到冰點 ( $0^{\circ}\text{C}$ ), 下層水溫仍是  $4^{\circ}\text{C}$ , 就能開始結冰的情況, 完全兩樣。在海洋裏, 一般的深度都是很大的, 要使全部海水都冷卻到冰點, 事實上是很困難的。只有在極地的海洋, 如北冰洋, 它終年的水溫都很低, 和沿岸淺水地方才比較容易結冰。

由於蘇聯先進海洋科學家們, 在北冰洋上, 無比艱辛的成年累月忘我工作的卓絕成果, 使得我們今天可以對海水的結冰現象, 能夠有一比較具體清楚的概念。研究的結果告訴我們, 海水開始結冰時, 最初呈現糊狀, 如溫度再繼續下降, 就結成冰層, 它的厚度, 普通不會超過 1 米左右。但有時遇風浪的打擊, 或者溫度的變化, 冰層就發生破裂。它們因相互撞擊而重疊, 再行凍結, 這樣結成的冰層, 表面常常

是很粗糙的。最大的厚度，甚至可以達到 10 米以上，北冰洋的許多冰層，就是屬於這種類型的。

還要說明的，就是人們在大洋中所見到的流冰和冰山，並不一定是由海水凍結而成的海冰。極地海洋中凍結的海冰，破裂之後，可能隨海逐流到溫帶大洋裏；但一般說來，這類流冰的體積都是不大的。因之，它們對於海上航行的船隻，還沒有多大的危險。在大洋中，體積最龐大，對航行威脅也最巨大的，却不是海冰，而是陸冰。因為它們的體積有時常常大得像山，所以也稱“冰山”。這種冰山，原是極地大陸上的冰河，因破裂而流入海中形成冰山，它們隨寒流流到溫帶大洋裏。冰山在水面下的體積，通常約相當於水面上體積的 9 倍，所以從水面上看去，冰山並不很大，可是它浸沒在海水面下却非常龐大，這樣它對航行的威脅是完全可以想像到的。

北大西洋是世界海洋中冰山最多的。在紐芬蘭附近，每年三月到七月，常有量多體大的冰山，從格林蘭那邊流出來。在大西洋裏，已被觀測到的最大冰山，長達 75—120 公里，高達 90 米。冰山在北大西洋漂流的範圍，最遠的可抵達北緯  $30^{\circ}$  左右，約等於祖國上海、杭州間的緯度，這對北大西洋航行上威脅是很嚴重的。1912 年英國郵船鐵坦尼號，就是不幸觸到冰山而沉沒的，罹難者共 500 多人。從這以後，有關各國就共同設置了流冰監視船，往返巡視於大西洋中，偵察到冰山，立即發佈警報，對航行其間的船旅，提出警戒，設法避開。自第二次世界大戰之後，應用雷達偵察冰山以來，冰山警報的發布，有了進一步的改善。

除北大西洋外，在南大西洋，也有從南極流出來的冰山。以長度著稱。在那裏被觀測到的最長的冰山達到 130 公里。

在北太平洋，因白令海峽很狹，所以北冰洋的海冰，很難流出，只有些從白令海峽本身流出一些流冰。同時，也沒有大量陸冰流出，所以便不見很大的冰山。

這裏，我們還得指出，在海水結冰時，大部分的鹽類，已經離析出來，因此海冰雖由海水結成，本身却是淡的。只在它組織間的小空隙

中,含有一些滷汁,這就是海冰多少還帶有點鹹味的緣故。海冰中除了滷汁以外,還含有許多氣體,所以海冰的組織,極為稀疏,色澤暗淡,和淡水冰的緊密透明不大相同。

### (五) 海水中的光學和聲學現象

上面曾提及過,海水中唯一熱量來源的太陽輻射能是一種波長當在 $0.15-4.0\mu$ 之間的短波熱能。其實,這裏邊一半左右(百分之49)就來自我們看得到的“能見光”部分(波長當為 $0.37-0.77\mu$ );其餘一半就是赤外線。這些光線透射進海水以後,一部分被海水所吸收,變為熱能;另一部分則因水分子和極細微粒物質對光線的擴散作用而消失了。所以海洋中光線的強度是隨着深度的增加而遞減的。但是由於海水對於各種光線的吸收,是具有選擇性的;那就是說,光線的波長愈長,吸收量也愈大。大家都知道的太陽光的波長是依照:赤外線、赤、橙、黃、綠、青、藍、紫、紫外線的次序而遞減的。因此,顯而易見,太陽光射入海水後,赤外線最先被吸收而消失。實驗證明,在海洋表層幾裡以內,赤外線就完全被吸收了。然後按照上面所說的次序,逐漸減弱。此外,海水中光線強度之強弱,和海水的清濁也有關係。混濁海水對光線的吸收,要比澄清的海水來得快些。據調查所得,在最溷濁的近岸海水中,在表層2—3米以內,就有85%以上的光線被吸收了,而在最澄清的大洋海水中,深度10米的地方,被吸收的光線,還不到20%。

海洋科學家們曾經用濾光照相機及測光器,在各個海區裏來測定各種光線其所能透進的深度,得出的結果是:為量極微的藍色光線,可能達到1,000米左右的深度;在深度達1,700米以上的地方,任何濾光照相機中的膠片都沒有一點痕跡,也就是說,到了那樣的深度,就不會有任何光線的存在了。

因為使用測光器和濾光照相機的技術和過程比較繁複,所以一般從事海洋調查工作時對於光線強度的測定,不用這種儀器。而是用一塊直徑為30裡的白色圓板(稱為賽希氏透明度板),放到海中,

直到我們的眼睛再也不能看到的深度爲止，這一深度稱爲“透明度”。最潔淨的海水，透明度可達 100 米以上；一般大洋海水的實際透明度是 60—70 米，近岸溷濁的海水，祇有幾米。

凡見到過海洋的人，都會有“海水是蔚藍色的”深刻印象。海水真是藍色的嗎？嚴格說來，這是不對的。因爲海水是透明體，本身是無色的。如果不相信，試掬一滴海水，仔細觀察一下，就可知道海水究竟有無顏色了。那不有些奇怪麼？爲什麼看上去，海水是一片藍色哩？要解答這個問題，我們必須把水分子對於各種光線的擴散作用加以說明。實驗證明：水分子對於各種光線的擴散作用具有選擇性，就是與光波波長的四乘方成反比。由此，可以知道它對於短波光線——如青、藍色的擴散，便要遠比長波光線——如赤、橙等色爲多。所以簡捷地說，海面的海水所以呈現着青藍色，就是由於水分子對這兩種短波光的擴散作用特別強烈的原因。

海水一般是呈現藍色的，但如海水中含有雜質時，便要影響到海水的顏色。沿海地區，海水中常常含有多量的泥沙或有機物，因之海水往往呈現黃綠色。祖國的黃海，因爲海水表層含有從河流注入及西北吹來的大量黃土，海水顏色稍稍變黃因而得名。海水中，有時也因某種浮游生物特殊繁盛，致使海水變色。如紅海的紅色，就是因爲那裏盛育某種紅色海藻的緣故。

海水是一種良好的傳音媒介，海水中的平均傳音速度爲每秒 1,500 米左右；也就是說比空氣的傳音速度（每秒 330—340 米）大上好幾倍。並且海水中，聲音被吸收的能量，也要比空氣中少得多。如何能很好的利用海水的這一傳音良導體的本質，充分地爲人民服務，是值得海洋科學方面重視的一件大事。

近二、三十年來，由於科學家們的努力，海水傳音的利用，各方面都已有很大的進展。比如自從在第一次世界大戰期間，發明了音響測深法以來，人類對於海洋深度的測定，就比以前要進步了不知多少倍；從前，海水深度的測量，一般多是採用鉛錘測深法。它是將懸有鉛錘的繩索，沉入海底，然後量入水繩索的長度，來計算海的深度。

不難想見，這樣的方法用來測量幾千米的深法，所耗費的時間是很多的。因此，當音響測深法發明以前，海洋深度已加測定的地方，竟少得可憐。自有音響測深法發明後，便大大改進了海水深度的測定工作。根據海水的傳音速度大到每秒 1,500 米，那末測一幾千米深的海底，祇需幾秒鐘就夠了。而且在航行當中，可照常進行測量，因此這項測深法的發明，可以說是大大提高了人類對於水道及海底形態的認識程度。

音響測深法的原理，是在海面的發音器中，發出一種聲音，當它直抵海底後，由海底反射，又回到海面，用收音記錄計算音波往返所需的時間，根據音波的速度，然後推算海底有多深？下圖是說明這個原理的應用。

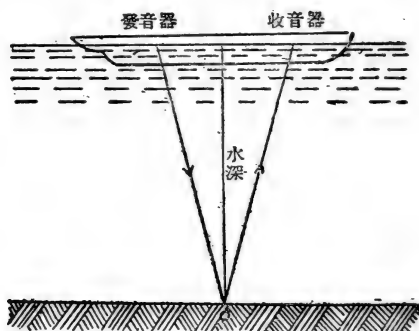


圖 18 音響測深法的原理

根據相似的原理，第二次大戰期間和以後，又繼續出現了或改進了無線電測向儀，魚羣探測器和潛水艇探測器等多種儀器，對於指導航行，發展漁業和鞏固國防，都有着極大的貢獻。

## (六) 海水的壓力和密度

什麼是海水的壓力？簡單地說，海水的壓力就是海洋表面到海水中任一點的水柱單位面積上的重量。這和大氣壓力是從大氣最外圈到大氣中任何一點的氣柱單位面積上的重量，意義完全相同。我們知道，從大氣最外圈到海平面的氣柱的重量，也就是說海平面的平



均大氣壓力是：水銀高 760 釐，即一個大氣壓。從海平面到海洋最深處（10,789 米）的海水壓力應是多少呢？平均來說，海水的深度每增加 10 米，海水的壓力就增加一個大氣壓，所以從海平面到 10,789 米深處的海水壓力，應該是 1,080 個大氣壓左右。這一簡單的對比，說明了海水壓力的巨大。這麼大的海水壓力，究竟對於人類以及海洋中的生物來說，又有着怎樣的影響呢？從下面兩個具體例子，我們可以得到一些啓示：

(1) 在空氣裏，我們人類可以上下幾百米，甚至幾千米的高山，並不會感得太大的異樣；但是有過潛水經驗的人却告訴我們，當潛入海水時，即使有充分的氧供給，可是我們人類能夠潛水的深度，很難超過幾十米的。這是什麼緣故呢？

(2) 也是大家有經驗的，從淡水裏撈上來的魚類，很多是活生生的；而從深海洋裏撈上來的魚類，往往難有一尾是活的，這又是什麼緣故呢？

當然，這兩個問題雖有着本質上的不同，並且每個問題各有着不簡單的原因，但兩者却包涵了一個共同之點，那就是當外界壓力突然發生了相當大的變化時，一般的動物就無法生存下去。理由是：動物身體上器官的構造，一般都只適應一定範圍的壓力，如果，突然間外界壓力有了急劇的變化，超過它們所能適應的一定範圍，那末，它們身體上組織或器官的某些部分被破壞，便要死亡。在空氣裏，地面和空中壓力變化較小，所以我們能夠升降千百米，不感多大困難。但海水中，上下層壓力的變化極大，人類就無法適應了。魚類呢？也是一樣。淡水魚一般生活在淺水裏，由淺水到地面，壓力的變化還比較的小。海魚——像黃花魚，棲息在幾十米以下的地方，從幾十米深處到海面，壓力的變化是好幾個大氣壓，因此當黃花魚等突被撈出離海深幾十米的岸上時，便因壓力劇變，鰾脹大致死。

上面兩個例證，說明了海水中上下層壓力的巨大變化，使生物的適應受了一定的限制；但這並不等於說，在海水的巨大壓力下，動物就不能生存了。根據調查，在深海洋幾千米的深層，仍是有着動物生

活在那裏。因此根本問題，不是在海水本身壓力的大小，而是在上、下層壓力變化的大小。生活在深海裏的動物，它們的細胞能滲透海水，因此，它們根本不會感受到海水的巨大壓力的存在。但，陸上動物的組織不是這樣的。有人做過試驗，將兔子沉到1千米的深海後，再提上來檢視，發現肺部有潰裂痕跡，這便因壓力巨大所致。

同時，還得指出，有一些動物，比如鯨類和烏賊等等，由於它們身體上的特種構造，能夠適應範圍很大的壓力變化，所以它們可以自由自在的在海水裏上下升降好幾百米。但是，這只是很少數的例外，對絕大多數動物來說，是適應不來的。

海水的密度和壓力，同為海洋科學上最常見的，也是最基本的兩個名詞。尤其在海洋物理學中更是少不了的。這裏，不準備多談高深的理論，只就海水密度在實用上舉幾個例子來說明它的重要性。

第一個例子，很多人都熟悉的，關於海水密度的大小，要影響到船隻的吃水問題。海水的密度愈大，船愈上浮，也就是說船的吃水愈淺。反之，海水的密度愈小，船愈下沉，也就是說船的吃水愈深。當船隻由海洋進到河流裏，由於密度減小，吃水也要加深，而河流一般都是深度不大的，如船隻吃水太深，那就要遭到擱淺的危險，所以進出於江海的船舶，必須充分考慮到海水密度的問題。

第二個例子，就是海水上、下層密度的分布，對於船隻的航行（特別是小船），以及生物的生存，具有極重大的影響。假如海水中某些深度之下，上、下層之間的密度差別很大，也就是說下層海水比上層海水密度要大得特別多的話，那末，上、下層的海水便因輕重差別太大，無法進行對流和循環，這時的水層，海洋科學上稱為“穩定層”。下圖就是兩個穩定層的例子。

這種穩定層，造成航行上有名的“死水現象”，航行在那裏的船隻（特別是速度較慢的小船），不進不退，好像粘在那裏似的。這由於船上所發動的動力，原是推動船隻前進的，但一旦它進入穩定層顯著的海區以後，小船的動力使密度小的表層海水，和密度大的穩定層海水之間，產生一種波動，因此船上的動力不再是推動船隻的前進，却繼

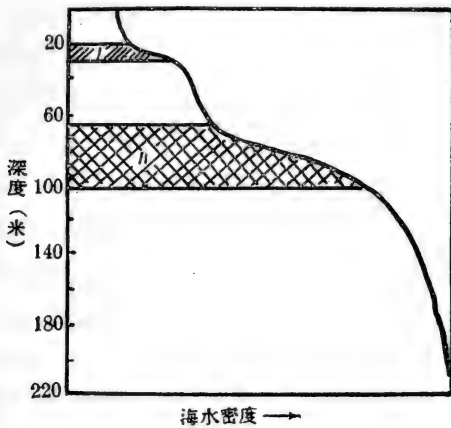


圖 19 海水的密度分布和穩定層

I. 上穩定層, II. 下穩定層。

續消耗在維持這兩層之間的波動,所以即使開足馬力,仍是不進不退,就像粘住在海裏一般。

對於生物來說,因這種穩定層的存在,使上、下層海水間的循環和混合無法進行,下層海水裏的魚類及其他生物所必需的氧氣,在一朝用盡後,無法得到補充,那末,那裏的生物便要因窒息而喪失生命。

## 四。 潮 汐

看見過海洋的人，一定目睹到海水是永恆不息地在運動着的。海水運動的類型是多種多樣的，有着大小不等的各種運動。有時是波濤洶湧；有時却微波不興，除非仔細審視，才會發覺到輕微的運動，依然存在。唯物辯證法的理論告訴我們：任何自然界的現象都是和運動分不開的。我們前面幾講裏所談到的關於海洋的一些現象，都是和海水運動緊緊相連的。如果忽視了海水的運動，那末海洋中的許多現象，就無法解釋了。

爲了扼要地介紹綜錯複雜的海水運動，我們擬將它分爲潮汐、波浪和海流三大類型。但必需注意，這只是爲了便於說明，而決不是把三者彼此孤立起來。恰恰相反，三者是有着緊密的內在聯系的，有時根本就分不開的。

潮汐是海水運動中，最早被人們注意到的，所以我們就先來談談潮汐。

### (一) 什麼是潮汐？——潮汐現象的基本概念

凡是與海爲鄰的中外國家，在她們的古史中，都有着關於潮汐的記載。在公元前四世紀（紀元前356年）希臘人尤多赫斯（Eudoxas）曾經分析過潮汐現象，還得出一個初步的推算方法，這是歷史上關於潮汐研究的最早記載。祖國唐詩裏有“早知潮有信，嫁與弄潮兒。”等有關潮汐的記述，可見祖國早有人注意到潮汐週期性這一特點了。這本書的開始曾說到，因限於物質條件，古人對於海洋科學的知識，往往祇限於沿岸和近海地方，但是，潮汐現象也恰恰是在沿海地區最爲顯著。因此，在所有海水運動的現象中，最先被人們注意的，就是潮汐了。

從科學的觀點來說，潮汐是海水的一種週期性升降或漲落運動。換句話說：潮汐的漲落現象，是經過一定的時間之後，週而復始的。對大海熟悉的人，恐怕誰也不會不注意到潮汐漲落的週期性的。

當然，如果在海濱的時間太短暫，那是不可能看到這種週期性漲落現象的整個面貌的；但，如能將觀察的時間，延續到一整天以上，那末，便可描述出潮汐現象的大體輪廓。不論從什麼時候開始，一定會使人注意到在某一段時間內，海面一直向上漲（漲潮），到了一定高度後，海面便停止不動了，（這便是海面上漲的最高限度，稱為高潮，或滿期）。又經過一定時間，海面便慢慢開始下落（落潮），後來愈落愈快，到了某一定點，海面又停止不動了。（這是海面下落的最低限度，稱為低潮，或乾潮）。再經過一相當時間後，海面又慢慢開始上漲，接着愈漲愈快，達到高潮後，又以同一方式，逐漸降落，直到海面又停止不動。就這樣漲落不已，高潮接低潮，低潮又接高潮，（高潮的海面高度和低潮的海面高度之差，稱為潮差）。海面這種週而復始的漲落現象，就是潮汐現象的基本輪廓。

如果我們能夠堅持不懈地繼續觀察下去，直到幾晝夜以上，並且正確記取高潮與低潮發生的時間。那末，便會發現潮汐的漲落現象，平均是以 24 小時 50 分鐘（稱為 1 太陰日）為一週期的。在 1 個週期之內，海面的漲落方式，最常見到的是兩漲兩落（即兩個高潮和兩個低潮），這兩回漲落，或者是彼此大致相同，或者是彼此相差很大。有少數地點，也可能觀察到，在 1 個週期之內，海面只有一回漲落（即 1 個高潮和 1 個低潮）。但，不管觀察是在什麼地點或什麼時間進行的，潮汐的漲落，總是維持在 24 小時 50 分這一週期不變的。並且在一個週期內，它的漲落方式，也必屬於上述三個類型之一，絕不可能還有第四種方式的。當然，這三種方式有時是會互相遞變的。可是無論怎樣總不出這三種方式之外，這便是潮汐現象的三大類型。潮汐學上稱第一種漲落方式為“半日期”，第二種為“混合潮”，第三種為“全日潮”。混合潮的漲落現象，介於“全日潮”和“半日潮”之間。有時它和全日潮很相似；有時又和半日潮分不開，所以全日潮與半日

潮,只要稍稍改變,也就形成了混合潮。下圖指出三類潮汐漲落的現象。

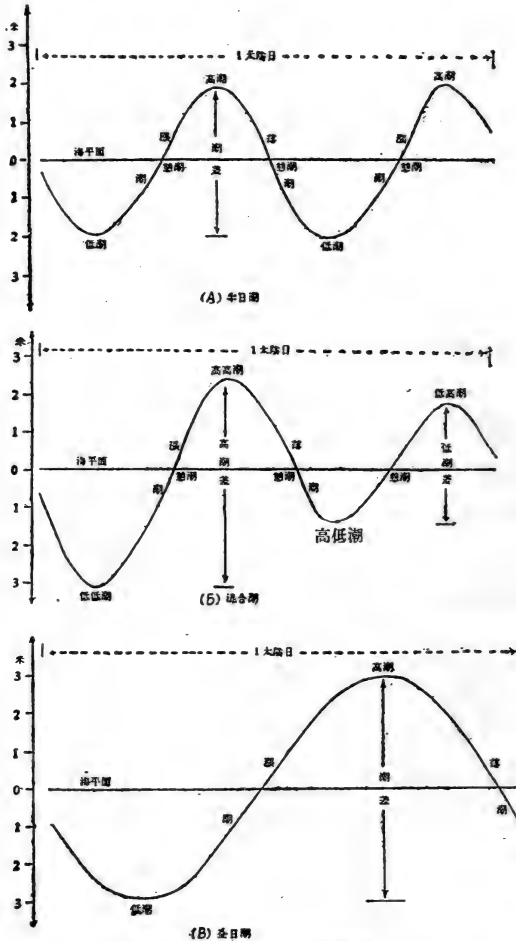


圖 20 潮汐的三種類型

以上所談的,是關於潮汐現象的最基本概念,主要是說潮汐現象是一種週期性的海面漲落運動,它是週而復始的。但也必需申明,這決不是說潮汐現象經過一週期後是完完全全地照舊重複。如果真是

這樣刻板如一的話，潮汐問題也就十分簡單了。事實證明，海洋裏的潮汐現象，却是異常複雜的，不但因時而變，也因地而變。在解釋這些複雜現象之先，我們需回答下面的一個先決問題：“潮汐是怎樣產生的”？或者“爲什麼海洋裏會有潮汐現象呢”？下面就來解答它。

## (二) 潮汐是怎樣產生的？——引潮力

幾千年以來，人們就在尋找“潮汐是怎樣產生的”這一問題的答案，並且我們的祖先，也確對這一問題，作過很大的努力。從相當精密的觀測中，他們也早就發現了潮汐漲落現象和月球的位置有着一定的關係，因此早就斷定了潮汐現象是和月球分不開的。牛頓(1642—1727)所發現的萬有引力定律，終於打破了前人只知潮汐和月球有關，但始終不解其間關係到底何在的謎。

牛頓的萬有引力定律，確是潮汐學上一件劃時代的大事。也可以說是使潮汐成爲一門海洋科學的奠基石。萬有引力定律指出：宇宙間任何二個物體之間的引力，和它們質量的乘積成正比；和他們之間距離的平方成反比例。以天體(任何星球)對我們地球的引力來說，因爲地球本身的質量不變，所以引力只和天體的質量成正比，和天體到地球的距離的平方成反比。這樣看來，宇宙間的天體，雖多如恆河沙數，但對地球能起巨大引力的，爲數不多。有些天體，質量雖大，但離地球太遠(這裏所說的大、小、遠、近都是指相對比較而言)，因此也就不能有很大的引力。反之，有些天體，離地雖近，但質量太小，也不可能有多大的引力。把天體的質量和天體到地球的距離兩者結合起來看看，在廣袤的宇宙間無數的天體中，只有月球和太陽兩個對地球的引力是突出的巨大。相形之下，其他天體的引力，都微不足道，因爲它們對地球的吸力的原理，都是完完全全相同的，我們現在就以月球爲例來說明吧！

衆所共知，以月球對於整個地球的引力來說，它們之間的距離是以月球的中心到地球中心之間的距離來計算的，但月球對於地球上某一定點的引力，它們之間的距離，又是以月球的中心到地球上某一

定點的距離來計算的。因為月球對於地心的引力，和月球對於地球上某一定點的引力，根據距離不同也就不會相同的了。這樣一來，地球各部之間，由於引力的不同，便要發生相對的運動。如果整個地球都是剛體的話，那末，各部之間的相對運動，仍然難以產生。但海水却是附着於地球表面的流體。因為月球對整個地球的吸力，和對於海水的引力的不同，海水對於地球的剛體部分，便要產生相對運動。這一相對運動，就是潮汐運動。它所表示的現象，就是潮汐現象。由此得知，引潮力的產生，是由於月球對整個地球的引力，和它對於地球表面的海水的引力的差異而起的。同時，我們也可以從另一角度來看問題；月球對地球既有引力，同樣地球對月球，也是有引力的。這樣，它們之間就形成了一個相互的引力系統，並有一個“共同的重心”。因為月球和地球是時刻也不停的在運動着的，所以它們便都要繞著這一共同重心，產生一種迴轉運動（月運動）；既有轉動，當然要產生離心力。因此，我們也可以說，引潮力是月球對地球表面每一點上海水的引力和那一點上的海水的離心力（由地球和月球繞着它們的共同重心而轉動所產生的離心力）相結合的結果。下圖便指明了這樣的引潮力。

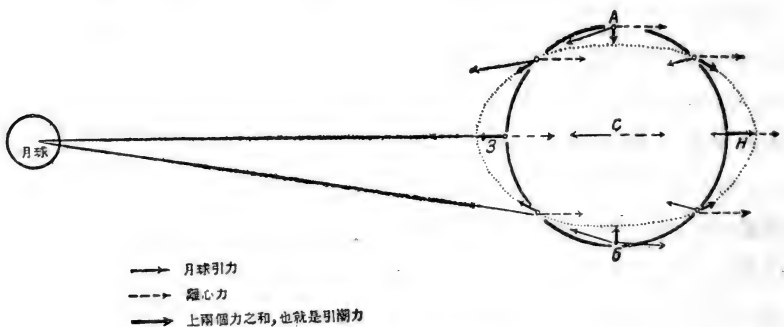


圖 21 月球對海水的引潮力

從上圖，我們便可以很清楚地看出：月球對海水的引潮力，以 3 和 H 兩點為最大；這兩點，在天文學上分別稱為“上中天”和“下中



天”。因爲對它們來說，月亮正好像處在天的正中一樣。同時， $A$  和  $B$  兩點的引潮力爲最小。在地球經過一次自轉之後，地面上的任何一點，都有經過  $S, H, A$  和  $B$  四個位置的機會，這就是爲什麼一天（1 太陰日）之內的潮汐，有兩回漲落的原因了（絕大多數情形是這樣的）。至於爲什麼潮汐的週期，不是 24 小時的太陽日，却是 24 小時 50 分的太陰日呢？首先我們需要把“太陽日”和“太陰日”這兩個名詞在天文學上的意義說明一下。地球自轉一次所需的時間，對太陽的位置來說，是正好 24 個小時。即是說，經過 24 小時之後，地球由準對太陽的某一位置，又轉到原來的位置，這段所需時間，叫做 1 個太陽日，正是 24 小時。但對月球（太陰）來說呢？就不一樣了。因爲月球本身在轉動着（當然太陽本身也在轉動，但相對於地球講來，它的轉動簡直很慢很慢，因此我們可以把它算是固定的）。所以經過 24 小時之後，地球準對月球的位置，不能從一定點回到原點，還需加上一段時間（約 50 分鐘）才行，這便形成了 1 個太陰日是 24 小時 50 分鐘。下面我們接着便要講到，月球的引潮力要比太陽的引潮力來得大，因此潮汐的週期也必須以太陰日爲準。

另一問題：爲什麼有些地方的潮汐，在 1 天（1 太陰日）之內，不是兩漲兩落（半日潮），而是一漲一落（全日潮）呢？這一方面固然和引潮力有關；但另一方面——也是主要方面，却是和海洋本身——海底地形有關。以後，我們還要詳細談到這點的。

由天文學上的知識證明和演算的結果，我們可以得出月球對於海水任何一點上引潮力的精確數值。這就是月球對海水的引潮力和月球的質量成正比；和月球中心到地心距離的立方成反比例。

太陽對海水引潮力的原理，是和月球毫無二致的。因此“太陽對海水的引潮力，和太陽的質量成正比例；和太陽中心到地心的距離的立方成反比例”。

天文科學告訴我們，太陽的質量雖比月球的質量大 2 千 7 百萬倍以上（假定地球的質量等於 1，那末太陽的質量是 333,400，月球的質量只是 0.0123），太陽到地球的距離，只有月球到地球距離的

389 倍 (太陽到地球的距離為 147,504,000 公里, 月球到地球的距離為 384,400 公里) 但是, 由於引潮力是和距離的立方成反比例, 所以月球對海水的引潮力, 仍然要比太陽對海水的引潮力大到 1 倍以上 (兩者之比為 1:0.46), 這又說明了, 為什麼潮汐現象和月球的關連是那樣的密切。我們不說潮汐的週期是 1 個太陽日, 而說是 1 個太陰日, 理由也可以想見。

通過上面的解釋, 對於海水的引潮力, 我們已有了最初步的認識。為了便於了解, 我們將引潮力分解為二個分力: 使一個分力和地球表面相垂直, 稱為“垂直引潮力”; 另一個分力和地球表面相平行, 稱它為“水平引潮力”; 潮汐現象表現為海面的漲落, 便很容易使我們發生一種錯覺: 以為海面的漲落, 是由於垂直引潮力的作用。實際上, 使海面發生潮汐漲落現象的, 並不是垂直引潮力, 而是它的水平引潮力。

因為垂直引潮力的方向, 總是和地心吸力(重力)的方向相反的, 因之這一垂直引潮力的作用, 只在使地心吸力的大小稍有改變, 而垂直引潮力最大時的數值, 也不過是地心吸力的 1 千萬分之 1 左右。所以對海面的漲落說來, 它是起不了什麼作用的。在上、下中天的大潮時, 垂直引潮力的作用, 只不過使 3 萬噸的遠洋巨輪, 減輕 7 磅左右。當然, 水平引潮力也是很小的, (它的最大值只有垂直分力最大值的 4 分之 3)。可是, 要知道, 在和地面平行的水平方向上, 却並沒有任何其他的外力來和它相對抗, 因之它雖是一極微小的力量, 却要使海水起着極微小的水平運動。這樣, 這一水平引潮力和地心吸力所構成的一個合力, 就是海面的“新鉛垂線”, 也就是新的地心吸力。從圖 22 我們可以看出這番情形。

想要保持平衡的話, 海面一定要和新鉛垂線取得垂直, 所以某些地方的海水, 便要上漲, 而另些地方的海水, 又要下落, 這樣便引起了海面漲落的潮汐現象。

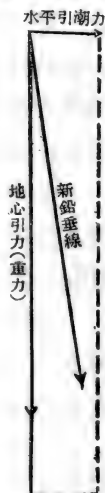


圖 22 水平引潮力對潮汐的作用

### (三) 從新、滿月的大潮說起——潮汐現象的複雜性

一個富有航海經驗，曾經進出過很多港口的老船長，常能娓娓動聽地告訴我們有關潮汐現象複雜性的許多有趣的故事。他經歷過的港口之中，同一港口，某些時候的潮汐漲落和另一些時候不同。某一港口潮汐的情況，和另一港口截然不同。有些港口的潮汐，小得微不足道；但另一些港口的潮汐，却大得驚人。……確實的，潮汐是一很複雜的週期性現象。這裏，我們將談談這些複雜現象中最顯著的，也最吸引人們注意的幾個例子：

先從新、滿月的大潮說起罷！“初一、十五漲大潮”這是我們祖先早就知道了的一回事。這究竟是什麼道理呢？天文科學告訴我們說：太陽、月球和地球三個天體，是在永恆不息地運動着的。因此，它們的相對位置，也隨着時間的不同而變化。當新、滿月時，三個天體的中心，位在同一直線上。這時，日球和月球對海水的引潮力，都是最大（這從上面的 21 圖中，就可看出一部分來）。並且，日月兩球對海水的引潮力，位在同一個方向上，也就是說兩者的引潮力是相加的，因此它們所合成的引潮力，當然是最大的了。在上、下弦時，三個天體的中心，位成直角，日、月球對海水的引潮力，一部分互相抵消，當然這時的引潮力，也就最小了。新月和滿月時，因為高潮特別高，低潮又特別低，所以那時潮汐漲落也特別大，稱為“大潮”。而恰恰相反地，上、下弦時高潮不高，低潮不低，潮汐漲落也就很小，稱為“小潮”。但應指明，大潮雖和新、滿月分不開，但大潮發生的時刻，却不一定就是新、滿月時。一般說來，大潮時間往往在新、滿月後一、二天。這個道理是因為在運動時，由於海水和海底摩擦力的關係，使引潮力不能立時起作用，却是需要一段時間的，這一段延緩的時間，稱為“潮齡”。同樣道理，小潮發生的時刻，也要比上、下弦月遲一、二天。這也正是潮汐漲落現象，所以複雜的一項理由。這種潮汐現象比引潮力要延後一些的情形，是普遍的，對於以後所講的各類情況，也是一併通用的。

天文科學又告訴我們說，每隔  $27\frac{1}{2}$  天左右的時間內，月球環繞着地球作一次公轉。這一公轉的軌道，不是正圓，而是橢圓。地球的位置並不在橢圓的中心；而是在橢圓的一個焦點上（橢圓是有二焦點的），因此，顯而易見，月球每一個公轉的週期內，由月球到地球的距離，是時刻變動着的。其中有一點，是它們相距最近的，稱爲“近地點”。因爲月球的引潮力，是和它到地心的距離的立方成反比例，所以近地點的引潮力，也就比較的大。即是說，在這一個時候，潮汐的漲落，也必然要大些。這一潮汐，稱爲“近地潮”。同理，也有一“遠地點”和“遠地潮”。遠地潮也必然要小些。這樣，使同一地點潮汐的漲落現象，又增加了一項複雜。

不但如此，天文科學又指出：月球公轉的軌道，亦不在赤道平面上，而是和赤道平面成 1 個平均爲  $23^{\circ} 27'$  左右的交角。因此，在一個週期之內，月球位置到赤道平面上的“角距”（這一個用角度來表示的距離，在天文科學上，稱爲太陰赤緯）。是時時刻刻在變化着的。下圖指出：當月球處在兩個極端位置時引潮力的情況：

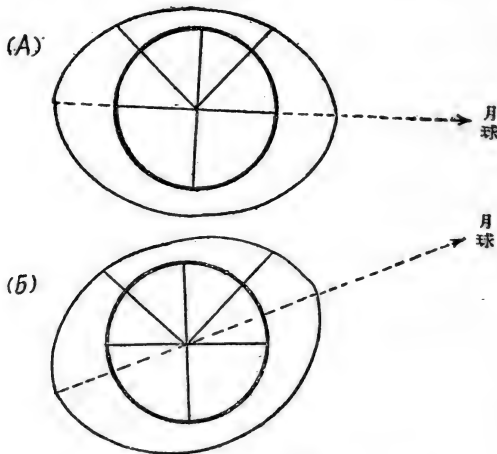


圖 23 太陰赤緯和引潮力的關係

(A) 月球的位置在赤道平面上；

(B) 月球的位置在太陰赤緯最大處。

由圖 23 可以顯然看出,當月球在赤道上時(圖 23 A),地面上各地潮汐的高度,自赤道向兩極遞減和赤道對稱。任何地點,當月球經過上中天所發生的潮汐和經過下中天所發生的潮汐,高度大致相同。所以這時相鄰的兩次高潮和相鄰的兩次低潮的高度也約略相同。這就是說:相鄰的潮差,是相去無幾的。這時的潮汐,稱為“赤道潮”(也稱“分點潮”)。反之,當月球位置在赤緯最大處時(圖 23 B),地面上各地潮汐的高度並不和赤道對稱。同時,當月球經過上、下兩中天時,所發生的潮汐的高度,也不相同。這時的潮汐,稱為“回歸潮”。這樣,更增加潮汐現象的複雜性,這就部分地說明了為什麼同一地點的潮汐有時為典型的半日潮(赤道潮也稱分點潮);而另一些時又為混合潮(回歸潮)。

由上面的幾個例解,我們主要地說明了,由於天文現象的複雜性,可以使天體對海水的引潮力,產生很多複雜的現象。上面所指出的,還只是由於月球和地球相對位置的變化而引起的。如所週知,地球和日球的相對位置,同時,地球、月球和日球三天體的相對位置也是在時刻變化着的。所以,引潮力變化的複雜性還要大大增加。但因為它們的影響較小,所以這裏也不再列舉了。

天文現象,固然可以解釋潮汐上的許多複雜現象,但是,還有許多複雜的潮汐現象,不是天文現象所能夠說明的。以潮汐的分布來說,按天文現象,地面上各地引潮力的分布,是有規則地隨緯度而變化的。但實際上,各地潮汐現象的變化,決不是這樣簡單。有時,比鄰的兩個港口,潮汐大小,可以大不相同。有時,相距很遠的兩處地方,潮汐現象,却可約略相同。就以潮汐的大小來說:按照天文現象,各地引潮力的變化,相差有限,決不會差上幾十倍的。但實際上,有些地方潮汐的漲落,可以高到 10—20 米(北美的芬達灣,是世界潮汐最顯著的地方之一。大潮潮差達到 15 米以上)。有些地方,却只幾寸。兩種情形相差就有幾十倍。從潮汐的類型來說,天體對各地海水的引潮力的週期是同一的,為什麼有些地方的潮汐是半日潮;而另一些地方却是全日潮呢? 天文現象就不能全部合理的解答。那麼,

究竟是什麼理由呢？

這裏，我們就要指出極重要的一點就是：地面上的潮汐現象，並不是完全由引潮力來決定的。引潮力只是潮汐現象的一個方面而已。單有引潮力是不夠的，因為即使有引潮力存在，如果海水對它不發生反應的話，那樣海洋裏就不會有潮汐現象。所以海水對引潮力的反應，是使海洋裏產生潮汐現象所必須的第二個方面。

那末，地面各地海水對天體的引潮力，又是怎樣反應的？這就需要看海洋本身形態的情況而定了。我們知道，任何水域，不論大大小小，形形色色，它總具有一個所謂“自然週期”的。這就是說：如果以任何外力，給予某一定水域，使它產生振動，那末，當這外力消失後，這個水域是要按照着它的“自然週期”，作週而復始的振動。（如果沒有摩擦力，和其他外力的干擾，這種週期性的振動，就可永恆不息地繼續下去的。）這樣按照自然週期而作的振動，稱為“自由振動”。因為這時它不受任何外力的控制，是完全自由地來按它本身的自然週期來作振動的。對海水來說：天體的引潮力，也是一種外力。受了這種外力的作用，海水必然要起振動（潮汐現象也是振動的一種）。但是，天體的引潮力，是永恆地繼續存在着的。對這種繼續存在的外力，海洋中的海水是不能完全自由地按照它的自然週期而振動的。反之，它振動的週期是受引潮力週期性所控制的，這樣的振動，稱為“受迫振動”，至於海洋中的自然週期，對這種受迫振動有沒有作用呢？有的。它對於控制運動的週期，是具有選擇性的。就是當受迫振動的週期一旦和它的自然週期相接近時，它就反應得特別強烈有力。也就是說：那時候它的振動特別大。反之，當受迫振動的週期，和它的自然週期相去很遠時，反應不大，那時它只起很小的振動而已。

實驗證明：一個水域的自然週期，是因它的形狀而決定的。以最簡單的正方形海盆為例，它的自然週期是和長度成正比例；和深度的開方根成反比例的。形態複雜的海洋盆地，它的自然週期和它的大小及深度的關係，就不一定這麼簡單了。不過，無論海洋盆地形態複

雜到什麼程度，它必定也有一個自然週期。而且，這個自然週期，必然和他的大小及深度有關，這是完全可以肯定的。在前面，我們談到過海洋的形態，簡直是形形色色，千變萬化的。各個大洋的形態，很不相同。即使同一大洋中，大型地形之中有小型地形，而小型地形中還有更小型的。顯然地，這種種形式的海洋盆地，必有各種不同的自然週期。因而，對天體的引潮力，各起不同的反應，導致各地形色不同的潮汐現象，由此便不難想像到潮汐的變幻多端了。

以祖國青島為例：它是祖國海的一個港口，它的潮汐現象，必然要受到祖國海形態的影響。祖國海又是太平洋的一部分，所以它又必然要受到太平洋形態的影響。同時它還要受到膠州灣局部形態的影響。太平洋，祖國海，膠州灣各有它們一定的自然週期。它們對於同一個引潮力，各有不同的反應，所以青島港的潮汐，應該是它們對於同一引潮力反應的總和。顯然可知，這一反應的總和，一定不簡單。相鄰的兩個港口，局部地形的不同是很有可能。因此它們所表現的潮汐現象也會不同。反之，兩個相距很遠的地方，它們對引潮力反應的總和可能相同，因而它們所表現的潮汐現象很有可能相似。

但，必須注意，海洋盆地的地形，雖然花式繁多，千變萬化，可是它們只能對引潮力的週期，有所選擇，却並不能將引潮力的週期加以改變。

可是，又為什麼有些地方的潮汐，一天（1太陰日）之內不是兩漲兩落，而只一次漲落呢？在前面講引潮力時，我們曾經說過，“這，一方面是和引潮力有關，但另一方面——主要方面，却是和海洋本身——海底地形有關”。現在就是將這兩句話，稍加說明。和引潮力的關係，可以這樣來看：在1太陰日內，如果前、後兩個“半日潮”的引潮力，完完全全相同，絲毫沒有差異的話；那末，不管海洋盆地的地形怎樣，海洋裏仍然不可能產生“半日潮”的。因為，我們剛才提到過，海洋盆地的地形，雖對引潮力的週期，有所選擇，但並不能有所改變。假使，引潮力的週期，只有一個，那就談不上選擇了。假使1太陰日內，前後兩個“半日潮”的引潮力，多少有一點點不同的話，問題就兩

樣了。我們前面也曾約略講到過，由於天體運動的變幻，相鄰兩個“半日潮”的引潮力，可以很接近，但決不會是完全一樣的。在這樣的情形下，我們可以設想：1 太陰日之內的引潮力，是由兩個（也只能有兩個）週期不同的分力所組成；一個是“半日引潮力”，它的週期是半個太陰日（12 小時 25 分鐘），另一個是“全日引潮力”，它的週期是 1 個太陰日（24 小時 50 分鐘）。一般來說，前者總是比後者大得多，所以，如果沒有海洋盆地地形影響的話，世界各地的潮汐，應該都是以“半日潮”為主的。但，由於各處海洋盆地地形的不同，它們所具有的自然週期也就不同，因此它們對於上面的兩個引潮力，便要有所選擇了！當某些海區的自然週期和“全日引潮力”的週期，很相接近，而和“半日引潮力”的週期，相去很大時，那末這些海區便只能對較小的“全日引潮力”起反應，對於較大的“半日引潮力”，却是不會起多大反應的。這樣，那些地方的潮汐現象，自然是一天（1 太陰日）之內一漲一落的“全日潮”型，而不是兩漲兩落的“半日潮”型了。

至於某些地方為什麼潮汐現象特別顯著（如前述北美的芬達灣等）？這也必然是大家很感興趣的問題。究竟又是怎麼形成的呢？要解釋這個問題，我們便要提出“共振”這一名詞。中學的物理實驗中，將音叉和一只盛有清水的杯子來做“共振”的實驗，這是大家熟悉的。海水和引潮力的“共振”的原理，是和音叉與杯子的“共振”相同的。這就是說：當某一海區的水的自然週期，和引潮力的週期一致時，便會發生“共振”。當“共振”發生時，海水隨引潮力而振動，步伐如一，聲調相同，因此就能發生很大的漲落現象。假如自然週期和引潮力的週期，完全一致的話，那末該地的潮汐漲落，將會大到無限。不過事實上，兩個週期不會完全一致，却可能很相近，但至少還是有點差別。當它們很接近時，照樣發生“共振”而致潮汐的潮差增加。北美的芬達灣潮汐現象特別顯著，就是因“共振”而起的一個好例。當然，我們不能說，凡是所有顯著的潮汐現象，都因“共振”而起，沒有那麼簡單的事！可是，必需承認，“共振”是產生特別顯著的潮汐現象的一個最主要的原因，這是毫無疑問的。我們還可從下面的例子，看



出“共振作用”所產生的力量，竟大到怎樣的地步。不多年前，北美某一大城內，一座巍峨的巨大建築物，突然傾圮了，事後調查原因，才明白這座大樓所以傾圮，是由於幾對舞伴們舞蹈動作的頻率（頻率是和週期成反比例的）和這巨大建築物棟樑的自然頻率，恰好合拍，因而發生“共振作用”，所以頃刻之間，大樓傾圮，由這可見“共振作用”所產生巨大力量的程度了。不過，必須強調指出，像這種兩個頻率（成週期）完全巧合一致，那是非常非常難得的機會。

#### （四） 潮汐爲什麼能夠推算？

##### ——調和分析和潮汐推算

潮汐現象，儘管是有種種變化，但大家都知道，世界各地潮汐的漲落，是可以有辦法來推知的。從潮汐表上，我們可以看到來年度內世界各主要港口每月、每日、每時潮汐的漲落情況。當然，推算的結果，未必絕對可靠，但大體說來，正確性是很高的。假如將潮汐推算和天氣預報作一比較，大家就會感覺到：潮汐可推算的時期要長得多，準確性也高得多；天氣預報，一般只能及到未來 24 小時或幾天，一週以上的長期預報，雖也可做到，但準確性就很難有把握了。潮汐表上所推算的，却是相當準確的整整一年的潮汐漲落情況。固然，兩者本質是不同的，把二者來相提並論，不過是對照一下，嚴格說來，是不適當的。它們不同的地方主要在於：潮汐是週期性的現象，而天氣則未必然，對於週期性的現象，和沒有週期性現象的預報，所採用的方法是迥然不同的。

據說早在公元前 356 年希臘人尤多赫斯（Eudoxas）就曾作過潮汐的推算；他那時所用的方法，和我們今天所用的方法是相同的嗎？是的，至少原理是相同的。尤多赫斯所用的方法和我們現在推算潮汐的方法，都是採用調和分析的辦法。所不同的，不過是我們現在所用的方法，是累積了長期的許多科學家（特別是十九世紀以來）的經驗而改進了。現在，我們還可以利用潮汐分析儀幫助我們做許多繁複冗煩的計算工作。世界各主要港口潮汐表，就是根據每一

港口過去的潮汐現象，應用調和分析，由潮汐儀來推算的。

潮汐推算(尤其是要求高度準確性的話)的全部過程，十分繁複。這裏，我們只把調和分析的原理，和它在潮汐推算上的應用，稍談一談。

簡單說來，調和分析的基本原則就是將任何一個複雜的週期現象，分解為幾個簡單的週期現象，來求得它們的和。從這一原則出發，我們可以假定錯綜複雜的潮汐漲落現象，不過是許多簡單的潮汐綜合的現象。

上面一再談起，對海水的引潮力來說：月球是主要的天體，但月球對地球的相對運動，却是相當複雜的。因此，它所產生的引潮力，也有很多變幻。我們曾提到過的，有因月球和地球距離的差異而產生不同的“近地潮”和“遠地潮”，有因太陰赤緯的不同而產生不同的“赤道潮”和“回歸潮”。我們又怎樣來應用調和分析來處置這項問題呢？辦法是這樣的：首先，假設有一個理想的月球（稱它做  $M_2$  罷！）它的週期和月球的週期相同，但  $M_2$  是位在赤道平面上的，並且它對地球公轉的軌道是一個圓周，地球就在這圓的圓心。因此，它每時每刻的運動速度和距地球的位置，都是相同的。這樣， $M_2$  所作的運動，便是最簡單的圓周運動了。依據調和分析的原理，我們可以假定由真正月球對潮汐所引起的每一種變化，都不是月球本身的作用，而是由於另外一個或幾個理想天體所產生的潮汐。這些理想天體對海水所引起的潮汐，稱為“分潮”。比如說，因月球位置不同而引起的不同的“近地潮”和“遠地潮”現象，就可以假設一個理想天體（稱它為  $N_2$ ）來代替。從天文科學上，我們知道由一個近地點，到下一個近地點的平均週期為 27.55 天。因此如我們要使  $N_2$  所引起的潮汐，和近地潮及遠地潮相同。它的運動方式必須是：在近地點時，它的高潮和  $M_2$  的高潮相當；在遠地點時，它的低潮和  $M_2$  的高潮相當。換句話說，在  $N_2$  天體於 27.55 天的一半時間（13.78 天）內，它要比  $M_2$  少走半個圓周（ $180^\circ$ ），就是說：每天要慢  $13.06^\circ$ 。因為  $M_2$  的週期是知道的，那末這一理想天體  $N_2$  的週期，也就容易求出了。這樣，月球位置的

同，在潮汐現象上所引起的變化，便可由假設這一理想天體而得解決。應用同一原理，我們也可以另外假想兩個理想天體（稱它們做  $K_1$  和  $O_1$ ），使太陰赤緯在潮汐現象上所起的變化，也得到解決。

從理論上講來，這種分潮的數目是很多的。但大部分都影響很小。在實用上，可不必去計算。一般的潮汐表中所用的，大約是二、三十個。其中特別重要的，就是上述的幾個： $M_2$ 、 $N_2$ 、 $K_1$ 、 $O_1$  和一個由日球所引起的  $S_2$  分潮，一共是 5 個。應用調和分析的原理，我們可以從天文現象中，求出這些分潮的週期，從潮汐記錄中，又可求出它們漲落的高度。因為這些分潮都是單純的週期運動。即是說，他們是經過一個週期之後，照舊重複的，所以它們的推算，問題就簡單了。再加上根據實際測定的潮汐常數和天文常數，我們就可以從分潮的漲落現象，來推算一個地方未來的潮汐了。

### （五）錢江大潮及其他

在潮汐現象中，我國的錢江大潮是名聞全球的一大奇觀。其實，完全從漲落的高度來講，世界上比錢江大潮（它的漲落高度最大時有 15 尺）要大的還相當多（前面提到過的北美芬達灣的大潮就要比錢江大潮高上 3 倍）。錢江大潮所具的特點，不僅在高，而更在來勢兇猛和潮端豎立，這是令觀潮的人咋舌變色的。當大潮來臨時，前哨陡立，看上去，潮水簡直好像站了起來一樣，就因它潮端直立，也就顯得分外地高，景象是特別壯觀。這樣的大潮，潮汐學上的專名是“暴漲潮”。除了祖國的錢塘江外，英國的塞汶河，法國的塞納河和印度的恆河，也都有暴漲潮的現象，但所有的全不及錢江大潮的偉大。

暴漲潮一般都發生在河口地方，因此很多人認為它是由於河身變窄和河床變淺這兩點原因引起的。不可否認，它們是起着一部分作用的。漲潮時，海水由廣闊的河口進入到河道裏，量是相當大的；由於河道變窄變淺，海水要上漲，那也是一定的。但僅僅是這樣，還不足以說明暴漲潮之所以產生的主要原因。試想一想，河流入海處，河道變窄變淺，差不多是世界上許多河流共同具有的特點，為什麼全

世界只有很少幾個河口有暴漲潮呢？並且，暴漲潮發生的地點，總是相當固定的，和這一暴漲潮位置相去不遠的上、下游地方，往往並無多大漲落現象，這也是河道變窄變淺解釋不了的呀！根據科學家們研究的結果，當河流中流水的速度和潮波（潮波速度和潮流速度是完全不同的）的速度相等或很接近時，便要產生暴漲潮。因為潮波的速度和水深有關，所以暴漲潮的產生，和河床變淺有關。但，必需當河床是在一特殊的深度時，流水和潮波的速度，才會相等或非常接近，這却是十分偶然的機會，因此世界上的暴漲潮是非常難得了。下圖指出了“錢江大潮”的概況。

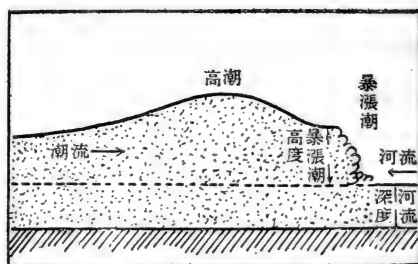


圖 24 錢塘江的暴漲潮

除了河口的暴漲潮外，海灣裏的潮汐漲落現象，也有它的特色。海灣的潮汐，有兩種形式：一種形式是從灣口到灣頭，高、低潮時間，逐漸延遲；漲落潮差，也逐漸減小。但也有特殊情況，比如說因海灣的深度和寬度，向灣口到灣頭逐漸減小，而漲落潮差，反自灣口向灣頭增加。另一種形式是灣內各潮汐漲落的時間，各處大致相同。潮差在灣口最小，在灣頭最大；也有在海灣中間的某地最大，灣口和灣頭反小的。海灣裏最顯著的大潮，一般是屬於後一種形式的。因為當海灣的自由振動週期，和引潮力的週期相接近時，便要發生共振作用。前述北美芬達灣的大潮，便是最著名的一個例子。

直到這裏為止，我們所談到的潮汐運動，都是因天體對海水的引潮力而引起的。不論它們所表現的形式，變化多端到怎樣的程度，但它們的起因總是同一的。這類潮汐，總稱為“天文潮汐”。一般所說

的潮汐現象，也就是指的這種天文潮汐而言。但海洋中潮汐的漲落，除了天文潮汐以外，還可因氣象的某些現象而產生。它們總稱為“氣象潮汐”。氣象潮汐和天文潮汐最主要的差別之點，就是氣象潮汐不像天文潮汐那樣有嚴正的週期性。在應用調和分析的過程中，這類氣象潮汐的影響，往往沒有計算在內。也可以說，這至少是潮汐推算不能絕對準確的原因之一，不過，氣象潮汐的影響，通常都是很小的，往往難以辨識。除非有劇烈的氣壓變化（如氣旋的侵襲等）能使海面產生巨大的漲落現象，稱為“海嘯”。顧名思義，這種海嘯，聲勢十分兇猛，看上去誠有海浪滔天之感。海嘯的產生，不僅僅限於氣壓的變化，海底地震，也可能引起很大的海嘯。關於這點，我們將在後面講到波浪時再提到。

氣象要素中，可使海面產生漲落現象的，除了氣壓外。還有風、雨和海水密度等。風對海面漲落的影響，一般只在海灣比較顯著。例如我國青島附近的膠州灣，口向東南，因此當西北風時，水向外流，灣內水面就要比平常降低一些；反之，遇東南風時，水向內流，灣內水面就要比平常漲高一些。但它們漲落之差，通常是不太大的。只在潮汐的年變化上，才能够辨別出來。

#### （六）潮汐和人類的關係

潮汐現象不僅是海洋中最顯著的現象之一，而且對人民大眾的日常生活，也有着特別密切的關係。在各種海洋事業中；航行、漁業、碼頭工程，都和潮汐漲落緊密相關。其他像動力發電，大地測量，也都和潮汐現象有關。

就以築港工程來說吧！碼頭的建築，必須切實符合各地潮汐漲落的大小。使得漲潮最大時，不致打到碼頭上面來，在落潮最低時，仍有足夠的水深，不致讓船隻擱淺。因此，在築港之先，必須深切了解該地潮汐漲落的具體情況，惟有這樣，才能避免損失。在潮汐漲落特別大的港口，最好建築閘門，使港內水面，經常保持一定的高度，不然，港口船隻在落潮時，因水面降低，不得不離開碼頭，這樣增加了旅

客上、下的麻煩，和貨物裝卸的許多困難。像有些碼頭如英國倫敦的建築，便採取這種辦法。每天只在高潮時，將閘門開放，讓船隻順利進出。其餘時間，都是將閘門關閉的。在沒有閘門的港口，船隻在進出港口時，對於該港口潮汐漲落的時間和潮差，都需要澈底清楚的很好掌握，從這一點，可以看出對航海的人來講，潮汐表是絕對少不了的。

漁業和潮汐的關係，不僅在於潮汐的漲落影響漁船航行的時間，而且對於漁撈和養殖，都有着很密切的關係。沿岸地方，海水的溫度、鹽分和各種化學成分，常常要受到潮汐漲落的擾動，發生很大的變化。在高潮和低潮之間，因為海水的時漲時落，滋生的動植物也最繁多。各國的海產養殖就利用這樣的區域。要想養殖得宜，必須對於各地潮汐的情況，和潮汐與海水因素之間的關係，研究清楚才對。在漁撈上，能夠切實掌握各地的潮汐情況，那末，對網具放置的深度，位置和方向等，都有幫助。便可提高捕撈的數量。

在潮差特大的地方，潮汐的漲落，含有極大的潛在力量。如果能夠善加利用，可以發揮巨大動力。當然，利用潮汐的漲落來發生動力不是輕而易舉的，必須配合沿岸的地勢，建築適當的海塘，使之成為蓄水池。並在海塘和外海之間，裝設閘門，以便控制水位。比如英國已有建築塞汶壩的計劃，利用塞汶河口的大潮來發電，至少每年可以節省 1 萬噸的煤。如何將祖國的錢江大潮妥為利用，很是值得研究的。

還有一點要談到的，就是任何高度和深度的測量，都必需有一基準面。普通以“海平面”作標準，但由於潮汐的漲落，所謂海平面，實際是不平的，並且時時刻刻在變動着的。因此，精密測定一地的潮汐漲落高度，再求出一個平均海平面，以為其他所有的測量標準，也是十分必要的。因此，我們說潮汐對大地測量，也是有關係的。

## 五. 波 浪

### (一) 什麼是波浪？——波浪的基本概況

海水裏最常見的運動，除了我們前面說到的潮汐的漲落外，另外一種便是波浪運動。凡是到過海濱的人，不會不看到海面的波浪的；住在海邊的，或者富於海上生活經驗的人們，對於海洋裏的波浪運動到底是怎麼回事，更加體會親切；和他們談起來，必然能很生動地告訴我們，在波浪運動的時候，海面是怎樣起伏翻騰的，當波浪衝擊到海岸，又是怎樣怒吼如雷的……。不錯，這些都是海洋裏的波浪運動。但是，應該強調地指出：這等等只道出了波浪運動的外形——波浪的輪廓運動，却還沒有接觸到波浪運動的實質——波浪的質點運動。也就是說，並不曾說明波浪運動的全部意義。那末便要問道：“什麼是波浪呢”？

什麼是波浪這一問題，如果用一句比較簡單的話回答，就是：“任何流體的質點，在它的平衡位置附近，所產生的一種週期性的振動。”無論是怎樣的流體，水也好，油也好，漿也好……，當它們處在平衡位置時，它是完全靜止不動地。可是，一旦它們的這一平衡位置，遭受到任何外界的力量而破壞時，那末流體有一種本性，要回復到它們原來的位置上去；因此，它們的質點便要在這一平衡位置的附近，產生一種週期性的運動了。海洋裏的波浪運動，也就是這樣的一種週期性運動。

當我們用肉眼去觀察海洋裏的波浪運動時，所看到的是海面的此起彼伏，以及這種此起彼伏的波浪向前推移。但，誰也不會見到過，那時海水的質點，是在它的平衡位置附近起着週期的振動。可是，我們這麼說確實有證據的。比如當海面有波浪的時候，我們拋擲一塊小木片到海面上，來觀看它是怎樣運動的？如果，我們以為那時

此起彼伏的波浪，會將這塊小木片帶走到遠遠的地方去，那就錯了。奇怪得很！這塊小木片絕不像我們想像中那樣隨波漂去，却一直留在我們拋擲的原位置附近，上上下下的起伏着。假使仔細留意觀察的話，我們還可以發現：當木片隨海面上升時，它稍稍向前移動；當它隨海面下沉時，又稍稍向後移動。從這塊小木片的上、下、起、伏運動中，就告訴了我們在波浪運動裏，海水質點運動的軌跡，應該是一個圓周。單從上面這個例子，也許還不足證實這一點，我們可以再作一試驗。當我們有機會乘船，遇有風浪的時候，拋出一個揉成一團並預先浸濕了的小紙團到海面去，再仔細觀察它是怎樣運動的？真稀奇得很，這個小紙團不是垂直下沉，却是幾乎沿着圓周的軌道，慢慢兒下沉的，而且還可以看到，紙團下沉愈深，它運動的軌道也就愈小。

其實，即使我們沒有機會見到海洋的話，還是可能有機會認識什麼是波浪的？去看一看“麥浪”的情況就行了。當風掠過大片麥田時，看上去，就像整片麥子此起彼伏地在隨風推進着。而實際上呢？誰都知道，麥子仍是好端端地生長在原處，並沒隨風而去，只不過是上上下下起伏着而已。

從上列的實例，幫助我們瞭解了一些波浪的輪廓運動和波浪的質點運動的不同，爲了得一比較更清楚的概念，我們可以看看下圖。圖中各圓周所作順時針方向的運動，就是波浪的質點運動，箭頭指出波浪向前移動的方向。粗線和點線所代表的，便是前後兩個波浪的輪廓運動。就是說原來由粗線所代表的波浪，瞬息之間，已經向前移動到了點線所代表的地位。圖中還清楚地指出了波浪的輪廓運動和波浪的質點運動之間的關係。

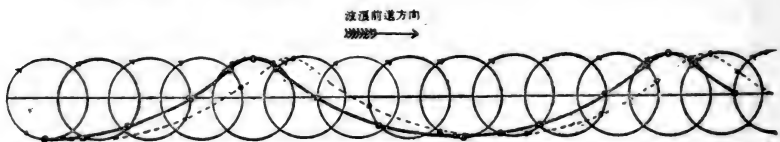


圖 25 波浪的輪廓運動和質點運動

從上面的圖裏，我們也可以看出波浪運動的“輪廓”，很像一條



“擺線”。爲了說明這一波浪的輪廓和以後應用方便起見，我們可將這一條擺線，分成幾個要素：

波浪上高出靜止水面的部分，稱爲“波峯”，低於靜止水面的部分，稱爲“波谷”。由一波峯(或波谷)到相鄰波峯(或波谷)的水平距離，稱爲“波長”。由一波峯到相鄰波谷的垂直距離，稱爲“波高”。相鄰兩個波峯(或波谷)經過同一個固定點所需要的時間，稱爲“波浪的週期”。波峯(或波谷)在單位時間上所移動的水平距離，稱爲“波速”。波高和波長之比，稱爲“波陡”。下圖指出了波浪輪廓裏面的幾個要素。



圖 26 波浪的要素

上面所講到的這一些波浪的要素中，要以“波高”和“週期”兩者最爲重要。假如沒有它們，就沒法說明波浪的大小。由於波長、週期和波速之間，存在着距離、時間和速度相同的關係。所以由任何兩個、便可求得另一個。不過，因爲波速是比較難以觀察的，所以我們總是從波長和週期來求得波速。

## (二) 海浪是怎樣產生的？——海浪的產生和發展

“無風不起浪”雖是一句俗話，但却道出了一般所謂海浪的來源。大家都懂得，假使一點風也沒有，海面上可能(但也不一定)是風平浪靜的。但，祇要有風一吹過海面，風對海面的摩擦作用，引起了海水的運動：一方面海水的質點被風帶動，向前移行——這是風海流，我們以後還要講到的；另一方面，海水的質點在它的平衡位置附近，產生一種週期性運動——這是海浪。因爲比起海浪的傳播來，海流的移動要慢得多。而且海流也沒有此起彼伏的形狀，所以在風吹掠

海面時，顯而易見的，只是海浪。

海面從光滑如鏡到波浪滔天，並不是一下子就轉變的。而是需經一定時間和一系列階段的。從完全風平浪靜的情況開始，如果風是接連不息的吹掠海面，便使得海面愈來愈粗糙。跟着，海面就由粗糙變成了凹凸，假如風還是繼續不停，這種凹凸便會愈來愈大。最初呈現的是魚鱗狀的毛細波，它就是風浪的前身。只要有風，海面一定很快就有了毛細波。它是一種很細小的波浪，最大的波長，也不過是2公分左右。實驗證明：產生這種毛細波的風速是0.25—1.0米/秒之間，假使風速是超越了這個數值，並且仍舊繼續不斷地吹襲，波浪也就隨着增大，毛細波變成了“風浪”。但這時雖有了風浪，還有毛細波繼續存在，所以在風浪的輪廓上仍是可以有毛細波的。只是風停了以後毛細波就很快消失，而風浪却不是立即消失，不過改變了它原來的輪廓成爲“湧浪”，漁民和海軍同志們簡稱它爲“湧”。風浪和湧浪的主要區別是：風浪的輪廓和擺線的差別較大，波峯比擺線的峯要尖陡些，波谷却比擺線的谷平廣些；而且在風浪時海面確實有顯著的此起彼落凸凸凹凹地完全是沒有規則的。下圖告訴了我們關於在風浪時海面的情況。

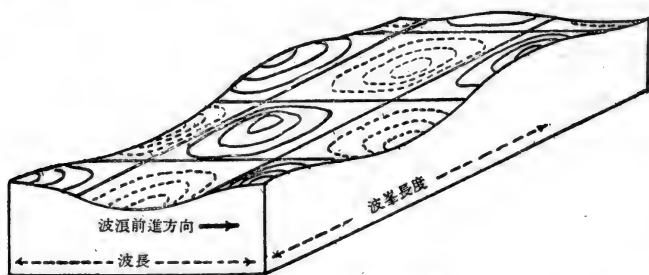


圖 27 風浪下的海面狀況

湧浪的輪廓線就和擺線的形狀很爲接近，它的波峯一般說來比較圓滑些，波長也比較大些。因此看上去好像是一排一排的樣子和風浪時的凹凹凸凸不同。湧浪的波高通常也比風浪小一些。

說到海面因受風的摩擦而產生風浪的情形，正如我們在一盛滿

開水的杯子裏吹進一口氣一般，立即可以看到水面上出現了皺紋。但，還要特別聲明一下：關於風的產生風浪的道理，我們還懂得很少很少，因此，對於風浪的壯大情況，我們也只能簡單的說一些。

可以想像得到，如果風吹過海面，當時海面不起波浪的話，那可以說是風對海面上各部分所施的壓力到處一樣，假如當時海面出現了風浪，那末就是說風對海面上各部分的壓力，不完全一樣。風吹襲波浪時，在波峯的（“迎風的”）一面，因受到阻礙就要“壓得重”一些；相反地，在“背風的”一面，因有波峯的屏障，就要“壓得輕”一些。假使把這種壓力不均勻的分布和海水質點的軌道運動來對照一下，我們就可以理解到風浪增長的原因。上面說到過波浪質點運動的軌跡是一個圓周，在質點作一次圓周運動的時間內，波峯便向前推進了一個波長的距離。在這段時間裏，我們所指的這一質點，它一半的時間處在波峯的迎風面；另一半的時間是處在背風面。當它在迎風的那一面時，質點的軌道運動是向下的，因受到風的壓力較大，使得它的下降運動也加速些；相反地，當它在背風的那一面時，質點的軌道運動是向上的，因受到風的壓力較小，也就使得它的上升運動要容易些。由於這樣的作用，風便把它的能量傳遞給波浪了。因為每經過一個週期以後，水質點能從風那裏獲得一些新的能量，這樣便使波高繼續增加；相應地，也引起波長、週期和波速的增加，這就等於說，波浪是在繼續長大着、發展着。當然長大的情形，並不是完全相同的，情況很複雜。不過，風若繼續吹過海面時，波浪必然繼續長大，這一點可以肯定。說到這裏，還應該注意到，在風浪長大的過程中，並不是將得自風的全部能量完全消耗在壯大自己，而是有一部分必需消耗在克服水質點當圓周運動時和海水內部所發生的摩擦上。從這點就可明白：決定風浪大小程度的，只是除去摩擦所消耗能量以外的那一部分（稱為風能的淨量）。

也許，會有人問：“風浪到底可以增大到什麼程度呢”？這對從未在大洋上航行的人，確實很難料想。假如單憑海濱附近見到的波浪來推測，那就小看了風浪的力量。在海岸附近，波浪受到海岸及海水

深度的一定限制，影響了它的發展，而在廣闊無際的大洋裏，波浪有了用武之地可以完全發展。根據記載得知，為人們所觀察到的最大風浪，高達 20 米，長達 400 米。想一想吧：普通的三層高樓，大約是 10 米高，最大的風浪竟有六層樓房那樣高哩。假如船隻遇上這種巨浪，即使不一定沉沒，也要遭到它的淹蓋。但最小的風浪，却只有 8 厘米的長度。從風浪大小的懸殊，可以推想到風力的大小。就整個海洋來說，世界上出現大浪機會最多的地方是在南半球。當太平洋出現了颱風的時候，風浪之大也很驚人。以祖國海來說，一般風浪都是較小的。最大的也只有 6.5 米，相當兩層樓房的高度。

風浪產生的地方，稱為波源（波浪的源地），這與天氣現象關連。波源沿着風向的長度，稱為“風區”。在海面上，波浪所能達到的最大的程度，主要看風力的大小，風區的長短以及風吹時間的久暫來決定。這個不難理解，因為風力愈大，風區愈長，風吹得愈久，海水質點從風那裏獲得的能量也就愈多，當然波浪的輪廓也就愈益壯大。

如果風力、風區和風吹的時間三個因素中，任何一個受到限制，那末其他二個即使很強大，仍然不能產生很大的風浪。以祖國的黃、渤海為例：在冬季時，盛行寒潮和大風，風力很強，風吹的時間也可能很久，但這種風是由大陸吹向海洋的，風區不大，所以黃、渤海在冬季很難有真正大浪。在夏季裏，東南信風多由海洋吹向大陸，風區要大得多，只要風力很強，尤其遇有颱風的情況下，祖國海裏可能有相當大的風浪。

我們為了計較風浪的大小，也像風力一般，分成多少等級，通常是從 0 到 9 十個等級，等級的大小是海面波動情況的一個指標。

### （三）波浪是怎樣傳播的？

在一個比較小的海區內，不論是內海也好，海灣、海峽……也好，一個天氣系統，常常可把這種海區整個籠罩在它的下面，整個海區因而成為波源範疇。在這樣的海區裏，海面上的波浪，多是由於本地的風所產生的，當然應屬於風浪的範疇。但是，在汪洋大海裏，一個天氣

系統就不可能籠罩全部海區，因此可能有一部分海區是波源，有風浪出現；而另一部分海區却是風平浪靜的。現在要問：另一部分海區是否能夠長期地維持寧靜狀況？那是不可能的。即使不曾有天氣上的變化，這一部分海區會“無風也起浪”的。這種浪是從那兒來的呢？無疑的，它們是由波源區傳播過來的。波源區的風浪也決計封不住，它必然會很快的帶着它的一部分能量到無風區來開闢新陣地。初來時，波浪很小，就像輕巧的偵察兵一樣，偷偷兒的進入到無風區，接着壯大的隊伍來到了，原來寧靜的無風區，這時就不再風平浪靜了，確實是無風興浪。不過，這時的波浪，已不同於波源區的風浪，而是湧浪了。

當波浪離開源地，向靜海傳播時，它不但得不着風力的支持，相反地却受到空氣的阻力。因此，原來尖銳的波峯便被削損為圓滑的，這就是為什麼湧浪的波峯比風浪的波峯要圓滑的理由。同時，海水內部的摩擦力，始終不放棄它對波浪的“剝削”。因此，隨着湧浪的傳播，波高是愈來愈低小了。不過，出乎我們意料之外，波長却是愈來愈大，這又是為甚麼呢？原因在波長較小的波浪逐漸被淘汰消失，只剩下一些較長的波浪了。層浪不但波長較大，同時它的週期也較它的前身——風浪來得長些。因此，它的波速也就比風浪的快些。曾經人們觀察到的最大湧浪波長為 824 米，週期 23 秒，波速每小時達 72 浬。把它來和海軍艦隊的主力——戰艦作一比較：戰艦的全長約為 270 米，航速每小時 30 浬，那就是說最大的湧浪，要比戰艦長 2 倍以上，快一倍半左右，這是多麼令人吃驚的事啊！不僅如此，湧浪還能作很長距離的傳播。北半球有些波浪，是從南半球高緯度的源地傳播而來，旅行了 6—7 千浬以上的距離，這又是何等漫長遙遠啊！

汪洋大海，雖然遼闊；但無論怎樣，還是有邊際的。因此，波浪傳播，遲早總有“碰壁”消失的一天。但一般是在波浪還沒碰壁之前，要經過一系列的變化。它到了近岸，隨着海水的變淺，海水質點運動的軌跡，因受到海水深度的限制，由圓變成橢圓，波浪的輪廓便逐漸改變——波長減短，波速也減小了。等到了一定深度（即水深小於波長

的一半時)以後,波浪就起了質的變化。這時波速不再和波浪本身的波長有關,而是完全由海水的深度來決定了。爲了區別起見,這一種稱爲“淺水波”,前一種稱爲“深水波”。如果同一條波峯,有一部分位於較淺的地方;而另一部分位於較深的地方,那末有一端必然比另一端速度慢些,這樣原來的一條直線形的波峯,這時却變得彎曲了。當它繼續向岸推進的過程中,這條彎曲的波峯,便逐漸和海水的等深線及海岸線取得一致的形式。這就是爲什麼在海邊,尤其在海水浴場所見到的波浪,不論它是從哪一方傳來的,却總是和海岸平行的道理。波浪在消失前的瞬間,發生破裂,當時它所有的全部能量,都在與海岸的衝擊中消失無遺,波浪破裂時,浪花四濺。如海岸是陡立的岩岸,浪花可打到幾十米的高度。3—40米高度的燈塔,被海浪打擊,並不是罕見的事;而且它的力量也很驚人,可以擊破和搬動幾千噸的巨石。如海岸是坦緩的沙岸,就會形成一條白色的泡沫帶,正是我國古詩中描寫的“驚濤拍岸,捲起千堆雪”。下圖指出了波浪向海岸推進的情況。



圖 28 波浪的向岸推進

#### (四) 波浪會向下傳播嗎?

上面講的是海面上的波浪以及它的傳播,還有人要問:“波浪也會向下傳播嗎”?答案是“會的,海浪也能向海面下傳播的”。我們都知道,海水是一種不可壓縮的流體,它的運動必須服從質量連續的定律。當海面上某一部分鼓起波峯的時候,假使這部分海面以下的海水不是相應地發生形狀變化,那末中間就會產生空隙;同樣,當海面形成波谷時,海面以下的海水不是相應地發生形狀變化,那末不同層的海水勢必搶佔同一空間,這是絕對不成的,所以海面以下的海水必

須隨同海面波浪的起伏而作類似的波浪運動。不過，根據觀測和理論上的研究，知道波浪運動的軌道半徑是隨深度而減少，也就是說波高隨深度而減少。並且當深度以等差級數增加時，波高便成等比級數而減少。因此，還沒到海底之前的某一深度時，波浪運動實際上已可忽略不計。這個深度，一般講來等於表面波長之半。深層波的波高雖逐漸減少，但波長還是和表面波一樣，所以深層波的輪廓，變得愈來愈平坦，最後成爲一條直線。

下圖指明了波浪的質點運動和波浪的輪廓，隨深度而變化的大略情形。左端的數字表示是波高對波長的比例。

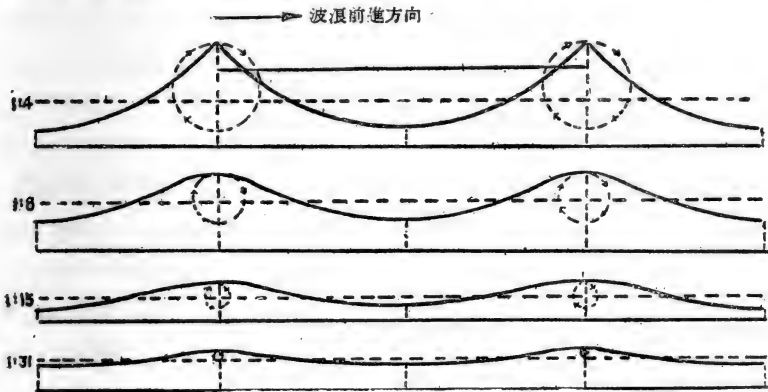


圖 29 波浪的向下傳播

海洋裏在一定深度以下，實際上不再有波浪的存在，這就給潛水工作人員和潛水艇上的海軍同志莫大的便利。

### (五) 海洋中的特種波浪——海嘯

上面所講的海浪，都是因風而起的，稱爲風浪（湧浪也就是風浪的變形）。但就我們所知，海洋裏的波浪並不一定全由風而引起。除了風力以外，在海洋裏可以形成波浪的，還有：(1) 氣壓的突然變化（前面已曾約略提及），(2) 地震和(3) 海底火山爆發等原因。由這些原因而引起的波浪，它們的性質和因風而起的風浪（及湧浪）迥然不

同。所以一般不稱之為波浪，而稱之為“海嘯”。由於低氣壓而成的稱為“暴風海嘯”；由於地震及海底火山爆發而成的稱為“地震海嘯”。它們都是非常巨大的波浪運動。波高最大的可達幾十米，起伏陡峻，好似峭壁，而且來勢汹汹，奔騰迅速。當它們沖擊到陸地上時，使人民的生命財產，遭受到難以估計的重大災害。下圖指出兩種海嘯的輪廓。

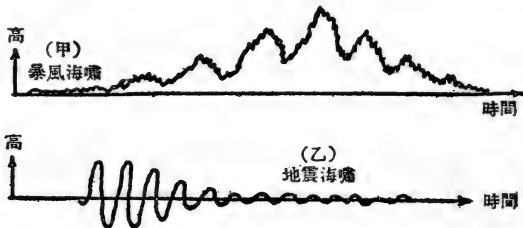


圖 30 暴風海嘯和地震海嘯的輪廓

暴風海嘯的成因，是由於低氣壓的迅速移動。因為氣壓低落隨而產生暴風，便使海面隆起。倘若這時低氣壓中心，移動加速，在海面隆起尚未達到平衡狀態以前，低氣壓中心位置又已更動，因此海面達不到穩定，不得不釀成極大的震動。一般地說，暴風海嘯的高度是隨時間而增加的。這一點從上面的圖(甲)裏，大致可以看出。在東亞，日本是暴風海嘯最多的地方。祖國却很少見。

地震海嘯是由於地震及火山噴發而成，因為這兩種作用，都是突如其來的，簡直是迅雷不及掩耳，因之它形成的海嘯也是來得很突然的，來勢也非常猛烈，上面的圖(乙)，可以看到發生這種地震海嘯時海面變化的情況。

無論暴風海嘯也好，地震海嘯也好。在大洋裏，除了它們發生的源地以外，通常都是影響微小，海面漲落也不大。但一到海岸附近，却大逞其威力。在港灣中，更為顯著，往往造成無比嚴重的慘劇。我們可以舉出有史以來的最巨大的二、三次海嘯作為例子，來看看它們釀成的嚴重災患。

1775年葡萄牙首都裏斯本沿海發生地震海嘯，高達20米以上的



大浪，連續捲來，淹斃人命，在 10 萬以上。

1883 年南洋印度尼西亞的爪哇和蘇門答臘之間的巽他海峽的火山爆發，破裂之聲，幾千里之外都能聽到。當時火山爆發而噴出的灰燼，遍及全球，陽光竟因之變色。海嘯之大，為空前所未有。最大波浪高達 30 米左右，幾乎使小島的生命財產，完全被毀，整個世界的海面，也都受到它的影響。

1938 年（9 月 21 日）美國東北部的暴風海嘯，造成了巨大的損失，總值約計在美元三億左右。

海嘯不但其勢兇猛，而且傳播極快。最快時能達每小時 4—5 百哩，即使廣袤無垠的汪洋大海也只要在一天之內，就可從源地達到任何海濱。如果不及時地迅速發出警報和緊急措施，雖離源地很遠的海港，也要受到巨大的損害。海嘯初臨海岸時，往往波浪不高，有時海水甚至暫時低落，但瞬息之後，驚濤駭浪騰空而至，海水常數漲數落，直到完全平息而止。同一海嘯，在很臨近的海岸地方，高度往往不一。假使某一港口和海嘯的傳播方向是正對着的，港口形狀又是外廣內狹的漏斗狀，那末海嘯的來勢也就最大；反之，在平直海岸，水深的地方，海嘯也比較微小。

近幾年來，由於海洋科學家們的努力，對於海嘯的預報方法，已有了初步的成果。

### （六）波浪和人類的關係

波浪和我們人類應該說在很早就有了關係的，當人類還過着原始的漁獵時代的生活時，一定飽受過海浪的無情折磨。古代史中，記載了二千多年前波斯和希臘戰爭中，波斯的軍隊，便是在渡海時受到海浪的猛襲幾乎全軍覆沒。當然，我們無需替古人擔憂，重要的是談談它和我們現代人類的關係。

首先，大家一定知道，海浪對海上航行的安全是有着密切關連的。不僅僅是海浪的起伏上下，使船身顛簸動蕩，很難駕駛，可能覆沒整個船身；更危險的是，當船本身振動的週期，和波浪的週期，相接近

或步調一致時，那就要產生“共振作用”，這時即使波浪不大，也可以造成無比巨大的力量，使船隻遭到覆沒。當這緊急之際，最好的辦法是迅速改變船行的方向和速度。使得共振作用不再繼續存在。

船舶在航行時，遇到海面上有大風浪時，人們曾用“油來鎮浪”，這原是我們祖先傳下來的一個老方法，航海的人都一向認為相當靈驗；就是科學研究，也認為它有一定的根據。理由在：把油倒在海面之上，油便很快的在海面上流散，因而使海面上蒙受了一層薄薄的油膜；因為它的黏滯性比海水大，表面張力却比海水小，這兩種作用都可以使蒙着油膜的波浪變得比較光滑平坦些。同時，又因油膜是亮晶晶的，看上去更顯得平滑些（這是一種光學現象，不信可以試試）。這樣海浪對船隻的威脅，確實多少減小一些。經驗證明，只要用不多量（約3公升；最好是動物油），便可以把尖銳陡峻的風浪，變得圓滑而近似湧浪。不過應該說明，油膜雖然能起一定的作用（使一些大浪表面的毛細波等消除而使海面變得光滑些），但對真正大浪本身的高度，還是起不了什麼作用的。

住在海邊的人們，也一定忘不了海浪對海岸及其建築物的破壞作用。海浪不斷地侵蝕海岸、沖擊堤壩，它的威力確實也是驚人！颱風過境時夾帶而來的海浪，可以搖撼整個海岸，甚至把海港建築物及其設備，蕩捲一空。下面舉一些歷史事實：在黑海沿岸附近，1931年1月19日的一次風暴，把一塊名為“和尚”的千年巨石，打碎成三塊。在蘇格蘭某地建築防波堤時，波浪曾經打翻了一塊1,350噸的重物，接着一塊2,600噸的重物，也遭到同樣的命運。

不但這種突然襲來的風浪有這麼大的威力，即使一般的波浪，長期衝擊着海岸而造成的破壞作用，也是意想不到的。譬如英國某地有一塊峭壁，它以每年5—10米的速度被波浪沖毀了。又有一處，過去是高越25米的峭壁，現在却成為7米的深海。

波浪不僅有破壞作用，也還有沉積作用。它會將被它破壞的泥沙石塊，搬運到其他地方去，而使那裏造成淺灘、沙洲或海濱，有時還可以將港口阻塞，這些全是我們引為厭惡的。

由於波浪有這種種重大的威脅危害，人們很早就想瞭解它制服它。希望通過對它的觀測和研究，找出它的發展規律，以便在它襲來之前，作好必要的準備工作，儘量避免生命財產的損失。因此就必須進行和陸地上的災害性天氣預報有着同樣重要性的海浪預報。如果，我們能準確地推測在什麼地方，在什麼時期，將有怎樣的海浪來襲，它的方向是怎樣的？它的大小又是怎樣的？持續的時間多久？等等，那將予我們沿海一帶的生產活動及國防建設莫大的助益。

預報海浪的可能性及準確性，是與海上風情預報的可能性及準確性分不開的。根據天氣預報中所指出的風情，我們可從風與浪的關係，推測這個風情（風速，風區及風時）將產生多大的風浪，它將轉變成多大的湧浪等等。

假如我們這裏並沒有風，而海面却突然出現了湧浪，那就是外海、外洋可能有風暴的警報。沿海的勞動人們很早就知道利用湧浪的出現而推測海上的風暴。當然這比從風預報海浪要複雜些，而且把握更小，這裏不過略略提到罷了。

實際講來，對於海浪預報，人們知道的還得少。在第二次大戰中和以後，人們才開始從實際觀測和理論研究兩方面來從事海浪預報工作。蘇聯及歐美的海洋學家，對這方面都做了很大的貢獻。對我國來說，在遼闊而漫長的一萬多里的海岸線上，建立許多觀測網，大量收集各地的海浪資料，應該是發展預報工作，發展波浪研究工作的一個重要步驟。

並且，海面上有時產生不是因風而起的波浪，如前述的幾種海嘯，它們所造成的危害更嚴重。積極發展對它們的預報工作，更是十分必要的。

當然，海浪並不是只有百害而無一利的，這就要看我們對它的研究達到怎樣的程度來決定了。海浪有着驚人的巨大威力，有如萬馬騰空，假使能把這種力量利用到動力功上，那該有多麼大的好處呀！這方面，人們正開始從憧憬走向實際的探索，善於與自然作鬥爭的人們，總會有那麼一天把海浪的利用價值具體化的。

## 六. 海 流

### (一) 什麼是海流？

海水運動的第三種形態是海流。從外表上來看，它遠不及我們前面講過的潮汐和波浪來得顯著。到過海濱的人，多數都看到過潮汐的漲落和波浪的起伏，但是，如果問問他有未見到過海流，他必然會反問：“什麼是海流呀”？

由海流這一名詞，使我們自然連想到河流。河水的滾滾流動是我們常見的，印象很清晰。海流和河流的“流”字，意義上是大同小異的。“流”就是指水（河水或海水）由一個地方流向另一個地方，即是說：“水的空間位置起了變化”。無論是海流或河流同具有這種意義。它們究竟不同在哪裏呢？那就是河水流動得比較快，而且又因有岸上的目標可以比照，所以在河流中，我們可以看出河水是向着哪一方向流動的；而海水的流動，一般都是比較緩慢的，在一片汪洋中，海闊天空，缺乏固定比照的目標，因此就不易看到它的存在，甚至壓根兒就沒有想到它的存在了。

不過，要想試探是否確有海流存在，也並非難事。譬如：我們在近海乘船，當船停了下來的時候，可以仔細觀察一下陸地上的目標：山峯也好，宏偉的建築物也好，一定令人感覺到那些目標的位置，竟在不斷的改變着。大家都知道的，山峯和建築物等是不會移動的，無從改變位置，這就說明了我們所看到的山峯等位置的改變，實際上是我們乘坐的船隨着海流漂移的緣故。如果要想看得更清楚一些，可以在停船拋錨時，從船頭向海面拋出一塊小木片，立即可以發覺這塊小木片慢慢地由船頭向船尾漂去，這正是海流的方向。還不相信的話，可以到船尾拋出另一塊小木片，它却並不向船頭漂去；因為船停泊下來，船頭的方向必然是向着海流流來方向的，所以在船尾拋出的

小木片絕不會流向船頭。這樣，我們完全可以相信海流是客觀存在了，不過，它流得很慢，也是不容否認的事實。

明白了海流這一名詞的概念後，我們可以意識到：它和表面上是輪廓(和能量)的傳播，而實際上海水運送很微的波浪根本不同；它和只表示海面漲落的潮汐，也有着本質區別。它雖不像波浪、潮汐那般起伏奔騰和信守時刻，但我們却不能因它沒有這些顯著的外表現象就說它不重要。海洋科學家告訴我們，它的重要性不但不亞於潮汐和波浪，更可以說比它們還重要得多。因為靠了它，才能使大量海水從某處地方流向另處地方。它不但存在於海邊，也存在於大洋中；不但存在於海面，也存在於海水深處。有過下面的事發生：只有在東亞的勞動人民才使用的小舢板，因被風浪所覆沒，它的破損殘骸——舵、艙、槳……等竟在遙遠的太平洋的另一方——美洲海岸出現，這是什麼力量使得它從亞洲海岸漫遊過太平洋漂到美洲海岸哩？潮汐起不了這種作用，聲勢浩大的波浪也沒有這種力量，海水裏絕不會另有第四種運動形態能有這樣的力量，無疑的這是受了海流(當然一部分是風力的作用)的影響。

海流，不僅它在海洋裏所佔據的空間比潮汐和波浪都來得大，而且它的種類也遠比它們來得多。上面我們曾談到過，海洋裏主要的潮汐，是一天(太陰日)兩回的半日潮，主要的波浪只有風浪和湧浪，而海流却花色繁多。有的海流在一相當長久的時間(幾年，幾十年甚至幾世紀)和很長遠的距離(幾百哩或幾千哩)，它的方向和速度，一直沒有顯著的變化，像似“永恆不變”的，稱為“恆流”。有的海流在比較短暫的時間(幾小時)和比較短小的距離(幾哩或幾十哩)，它的方向和速度，就會完全不同。有的海流是比較暫時性的，等暫時性的作用力一消失，它也隨着消失(暫時性流)；有的海流和潮汐一樣，是有週期性的(週期性流)；它還有兜圈子式的(迴轉式)和往復不已的(往復式)。按照這樣分下去，永遠也分不完，而且也得不到具體的印象。海洋科學家們長期辛勞的結果，已把海洋裏佔重要地位的海流，整理出一個系統來了。現在我們將它簡單介紹一番，作為認識海流

的基礎。

## (二) 海流是怎樣形成的？

### ——談談幾種主要海流的成因

要想對海流作一比較有系統的認識，最好是從它們形成的原因這一角度來看。也祇有這樣，我們才能對海流有一比較具體的認識，不至於顧此失彼。

當前面談到潮汐和波浪的成因時，我們有一種感覺，就是儘管它們所表示的現象形形色色，但兩者的成因都比較簡單。以潮汐來說：成因只有一個（除去氣象潮汐不計）——即天文上的原因。波浪的主要成因，也只有一個——即風力，也就是氣象上的原因。但是產生海流的原因，却比較複雜；簡單的說，應該是兩者的綜合，即海流是由於天文上的原因和氣象上的原因共同引起的。

屬於天文上的原因，只有一個引潮力；而且引潮力引起海流，也不難想像；引潮力既能使海水上、下漲落，也必能使海水作水平運動。引潮力有週期性，因而它引起的海流，也必然具有週期性，所以這種海流稱為“潮流”（水平的運動）來和“潮汐”（垂直的漲落）對稱。

氣象上的原因而形成的海流，就要複雜得多，大體說來，它有下面幾種：

最顯而易見的一種是“風海流”，這是由於風對水面的摩擦力和風在波浪後面（迎風面）所施的壓力而產生的。前面講風浪時曾提及過這個名詞。

另一種海流，是由於某些海區海水過多（相對和比較而言，因河水注入或另一些原因所致），另一些海區海水過少，這樣使“海平面”不平，而形成有高有低的傾斜，水必然是向低處流的，所以海面的傾斜，也必定引起海流的發生，這類海流一般稱為“坡度流”。坡度流也有另一成因，是由於海面上空氣壓力變化，使海面高度發生變化。

但是，還有一類更重要——也是最壯大的海流。這類海流和海水密度輕重的分佈有關，海洋科學上稱為“密度流”（也就是恆流）。

現在，我們只能肯定密度流的存在和海水的密度分佈是分不開的，但它究竟是否因為密度分佈的不同而引起的呢，說法還沒有完全一致。

上述的一些海流，它們的流向，大體上都是水平方向的。即使由於海面傾斜而引起的坡度流，也不例外。可是除了這些水平方向的海流以外，同時還有垂直方向的海流存在。前面我們不是一再提到過上昇流嗎？既有上昇流，當然也一定有下降流，它們主要是因風而起的。

這裏，我們應該提到的是：海流的流速，一般都是比較小的。每小時2—3哩的流速就算是相當大的了。通常是在每小時0.2—1.0哩之間，這樣就是一天也只能移動幾哩，和河流的流速相去很遠，和波浪傳播速度（每小時幾十哩到幾百哩）比起來，簡直是不可同日而語。

上昇流和下降流的流速是更小了。比較顯著的，每天也只有1—2米左右。可是，它們的力量，却不容我們忽視。

假如，在海洋裏，上面這些海流是單獨存在的話，情況還不至於太複雜。事實上，海洋中的海流，僅是一種原因而形成的，非常少見。一般說來，都是幾種或所有的原因綜合的結果。比如世界上最有名的海流之一——墨西哥灣流，它就同時既是密度流，又是風海流和坡度流的綜合現象，它也含有潮流的成分，同時還存在着上昇流和下降流的現象。這樣看來，海流本身的情況，是非常複雜。分析起來，也必然是困難叢生的。

不但如此，由於地球自轉的結果，便產生所謂地球偏轉力（科學上稱為克氏力）。固然，這一地球偏轉力，不單是作用於海流；它在一般力學方面的問題上，因和其他的力，相形之下，微小得可以不計。但在海流的作用力上，由於海流本身的速度既小，而運動的範圍又大，所以這項地球偏轉力，便成為最主要的力之一。這個力對海流的作用是：使海流的流向“偏轉”一個角度；在北半球偏右，在南半球偏左。

此外摩擦力的作用，也對海流有一定的影響，它消耗了海流的一小部分的力量，使本來就流得很慢的海流更加流得慢了。

### (三) 從沿岸地方的潮流說起

沿岸地方的海流，當然也常常是由好多種原因綜合而成的。但大體說來，以潮流一項，最為顯著。這和潮汐的情形相同。潮汐也是整個海洋都有的，但以沿岸為最大。潮汐和潮流，是引潮力的孿生子，它們永遠分不開。決不會只有潮汐的漲落而沒有水平的潮流；也決不可能只有潮流的流動而沒有潮汐的漲落，不過在我們看來，潮汐的漲落要容易顯現得多。

潮汐和潮流都是由引潮力而引起的。引潮力可以分為垂直引潮力和水平引潮力。因此，我們要特別注意的一件事，就是別把潮汐的漲落認為是垂直引潮力所致；而潮流的產生認為是水平引潮力所致。這種不正確的想法，似乎很自然的，甚至許多大科學家，有的也這樣想過。必需知道這是完全不對的。前面講過，垂直引潮力是起不了什麼作用的。潮汐的漲落是由於水平引潮力之故，潮流也是同理。可是，水平引潮力怎樣引起潮汐和潮流，始終還是一個海洋科學上的難題。這裏，不預備來討論。兩種運動形態的週期性，必然是完全一致的——24小時50分即1太陰日。同時，也都有半日型，全日型和混合型三種類別。

在狹窄的海峽和灣口地方，半日型潮流每隔6小時多一點，改變一次方向。也就是說：在1太陰日內，改變方向4次。全日型潮流每1太陰日改變方向2次（混合型與半日型潮流的區別和混合型與半日型潮汐的區別是一樣的）。這樣，每隔幾小時改變1次方向，週而往復的潮流，就稱為“往復流”。祖國膠州灣口的潮流，就是這種形式的。往復流在每次改變方向的時候，它的速度等於0，叫做“平流”。平流以後，速度漸漸增加，達到最大值（稱為“漲潮流強度”）後，又慢慢減少，所以最後又回到平流。這次平流以後，海流轉向相反的方向流動，流速同樣的由0到最大值（稱為“落潮流強度”）再回到0。就這樣完成了一個完整的週期。下圖便是一週期內潮流變化的情形。



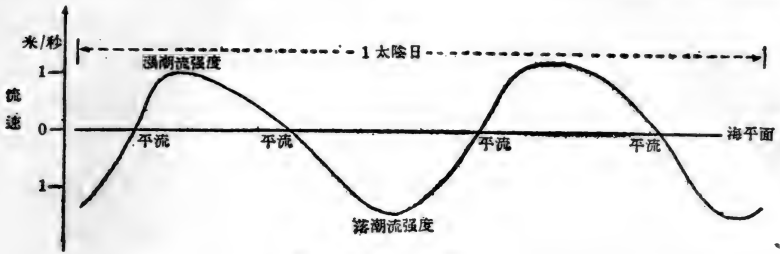
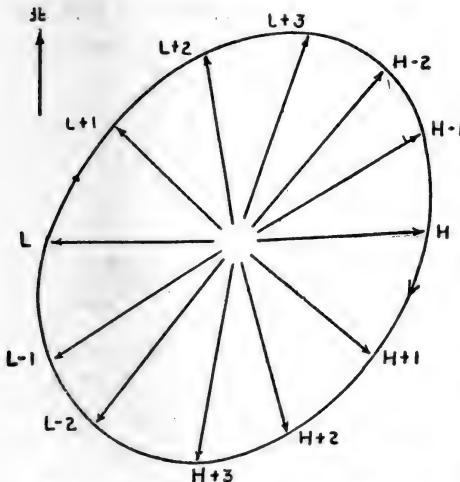


圖 31 潮流的日變化

在近海和大洋裏，潮流的變化情形，和上面所說的完全不同。那裏的潮流好像在兜着圈子似的。所以它的方向，不是每隔幾小時變更一次，而是時時刻刻都在變化着的。這樣的潮流，稱為“迴轉流”，這主要是地球偏轉力作用的結果。在北半球，迴轉的方向是順時針的；南半球却是反時針的。在半月型潮流的地方每 1 太陽日迴轉 2 圈，全日型潮流的地方，迴轉 1 圈。下圖是迴轉潮流的一個例子：



說明：H 表示高潮時間，L 表示低潮時間。  
 H+1 為高潮後 1 小時。  
 L-1 為低潮前 1 小時。  
 餘以此類推

圖 32 迴轉流

因為往復來回和兜圈子的流動方式，海水由某一原地開始，一週期之後，又回到原地。所以海水運送的淨量等於 0，這就是說：潮流對於海水的運送，是不起任何作用的。

以上說的，是海面的潮流情況。海面以下，有沒有潮流呢？有的。從理論上來說，深層潮流的流速和方向，應該同海面是完全一樣的。已有人在淺海做過調查，證明上面的理論是正確的。至於深海，還沒有得到充分證實的資料。

當然，這些都是只和潮流的一般性的問題有關，實際上，潮流受海底地形的影響是很大的。在狹窄的海峽裏，潮流的速度最大，最高值可達每小時5—6浬，和普通小船的航速差不多。所以當潮流最大時，小船要是逆流而上，那是非常困難的。

潮流因為具有一定的週期性，如我們搜集了相當多的觀測資料後，便可對某一地點的潮流，進行預測。我國沿海的勞動人民——漁民，由於累積了豐富的經驗，對於沿海地方潮流的預測，常常具有着令人驚奇的準確性。

在沿海海濱浴場所在的地方，往往還有一種由波浪的破裂作用而產生的“離岸流”。這種海流，作用不大，在海洋科學上也沒有多大的意義。但對一個在海濱浴場游泳的人來說，與它却有密切關係。因為這種離岸流，總是由岸向海，在它的某一部分（稱為“頸部”），流速却也相當可觀。如果游泳的人，不巧游進了離岸流的這一頸部，即使他費了九牛二虎之力，企圖游向海岸，也是枉費精力。因為他和海流的流向正是相反。用力

過度，身體疲乏，就有被這種離岸流捲去，甚至有喪失生命的危險。游泳的人如碰到這種情況時，千萬不要企圖向海岸直泳，應該調轉頭來，游向兩側，出了離岸流的頸部，就可轉危為安了。下圖就是這種離岸流的一個典型範例。

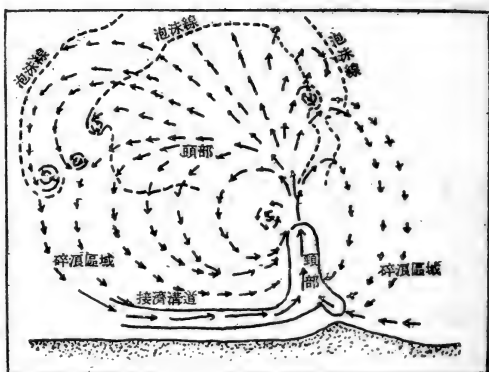


圖 33 離岸流

#### (四) 風海流和與風有關的海流(昇、降流)

風吹海面，脅迫海洋表面的海水，沿着風的方向流動。海水一開始流動，另外兩個力量——地球偏轉力和摩擦力，便毫不放鬆的馬上開始作用。這樣，三個力量：風力、地球偏轉力、海水內部的摩擦

力，就互相傾軋，最後達到一平衡狀態，這時海水的流動，稱為“風海流”。

風海流理論的創立，傳為海洋科學史上的一個美談。具體地說明了科學家忘我勞動的成果，對人民大眾造福的實例。截至現在，所有的海流中，風海流是比較地為人們所熟悉的。下面的簡圖，告訴了我們汪洋大海中風海流的大略情形。

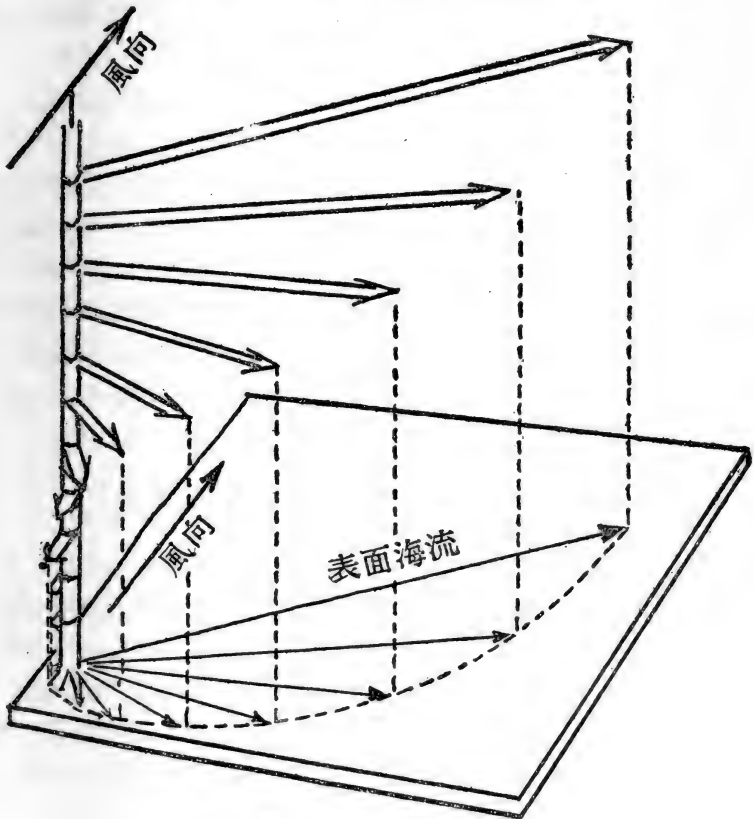


圖 34 風海流的垂直分布

上圖指出風海流的立體圖形和它的水平方向投影。從圖裏，還能知道海面的風海流和風的關係，以及各層風海流之間，流速和方向

的大旨情形。簡單地說：海流流速是由海面向深層遞減；海流方向在海面是偏（風力的）右  $45^\circ$ ，這種偏向隨深度而遞增。到了某一深度，那裏海流的方向和表面海流的方向相反；而它的流速不超出表面海流的百分之 5（23 分之 1）。這一深度，一般用爲風海流的底界，再向下流速微小，就算它沒有風海流了。

在靠近海岸的地帶，風海流的情況，就不像上述的簡單。海水的深度，距岸的遠近，海底的地形等等作用，都要使得風海流變得複雜得多。靠岸很近的地帶，風海流的性質，起了質的變化。這時一面有陸地，海水的運動，受了限制。如果風是由海洋吹向陸地的話，它不能把海水逼脅得滲入陸地裏，而是堆聚在海岸附近。但是，海水是流動的，當然堆聚不住，在進退兩難的境況下，它只得向下沉降，這樣就形成了“下降流”，反之；同樣也可造成“上昇流”。而後者更爲重要。因爲它對海洋生物的影響很大，這一點我們在以前曾提到過，以後還有機會講到的。同時，上昇流將深層的水帶到海面，因此表面海水的溫度必然降低，這對當地沿海的氣候，也有着相當大的影響。在上昇流很發達的海岸，往往多霧而少雨，因之，在那裏沙漠可以直抵海邊。

### （五）海流中的“巨人”——密度流和大洋環流

我們說密度流是海流中的“巨人”，一點也不過分。和它來比較，我們上面所講到的那幾種海流——潮流、風海流、昇降流等等，不過是些小小傀儡而已。密度流的巨大性，表現在時間的持續恆久和水量的豐沛上。也表現在流動過程的距離遙遠上。它大得突出，無疑是大洋環流中的骨幹。其他各種海流，可能在局部海區，顯出了一定的重要性，但就整個大洋環流來看，僅是起着某些個別作用而已。

密度流一直是海洋科學上最受重視的基本課題之一，也是許多海洋科學家鑽研的主要對象。它是海洋動力學（研究海水的運動及其成因的一門科學）上的主力戰，差不多佔有全部海洋動力學一半左

右的篇幅。假使密度流在大洋環流裏的重要性這一問題無法解決的話，整個大洋環流也就不能瞭解，所以它的被重視，也是必然的。

關於密度流的解釋，有很多學說，到今天止，起主導作用的學說，以前是“環流學說”，現在是“吹流學說”。

環流學說在整個海洋科學上，特別對海洋動力學的貢獻是巨大的。我們可以這樣說：直到吹流學說創建以前，假如沒有環流學說，也就沒有海洋動力學。它指明了密度流和海水密度之間存在的關係，以及怎樣應用海水的密度分布來求得密度流，這也正是密度流名稱的由來，它使我們對密度流能有初步的認識。並且，我們還可以用海水的溫度、鹽分和壓力分布（密度的分佈就是根據它們來決定的）來計算汪洋大海裏的主要海流，不必用一些既麻煩又不準確的其他方法去測量大洋裏微弱的海流，這便是環流學說的主要貢獻之一。但是，還應當指出，“密度流究竟是怎樣產生的”？這一最基本的問題，環流學說沒能解決。如果說海水密度分布的不同，是產生密度流的根本原因，那末，大洋裏密度分布，又是怎樣形成的呢？無可否認，它可能是因海水溫度和鹽分分布不同而形成，但理論指出，這些不可能是產生密度流的基本動力，它們的力量不足產生這樣巨大的海流的。除了它們，能不能找出其他的力量，可以促成海水中這樣的密度分布呢？有的，就是海流本身。這麼一來，到底是密度分布產生密度流呢？還是密度流造成密度分布呢？究竟什麼是原因？什麼是結果？這始終是環流學說所不能解答的問題。簡直就像先有蛋還是先有雞的疑案了。

到吹流學說創始了以後，替密度流的解釋（和大洋環流的形成）開關了一條新路。它的創導者，包括了蘇聯先進的和歐美的一些科學家們，他們走出了“先有蛋還是先有雞”的疑團。他們是從另一方面去看問題，其實，說來也很簡單，如果將世界的風帶（或風系）圖來和世界的海流圖對照一下，便不難看出：這兩個圖的基本形態是很相似的。難道我們能說這種相似是偶然的嗎？那是決不會的。下面接着而來的問題便是：“地面上風系的分布，說得更確切些，風的分布，

會不會是產生密度流的原動力呢”？

吹流學說的科學家們，長期努力的結果，終於得到了傑出的成就。他們證明了：產生密度流的原動力仍然是風。那末，密度流和風海流的形成，又有什麼不同呢？要瞭解這一點，必須根據這兩種流規模的大小來看問題。

前面說過，風海流是由臨時性的、局部性的風力所引起，它是風力和地球偏轉力及海水內部摩擦力取得平衡狀態下的一種現象。地球偏轉力和海水內部摩擦力是時時刻刻都存在的。只要一有了風，便會引起大小不同的風海流。但是產生密度流的條件，却不如此簡單了。不僅要有風，而且要長期性、大規模的風系。這裏所說的“長期性”，是指時間上不以日計而以年計；所說的“大規模”，是指範圍不是以幾哩幾十哩，而是以幾百哩、幾千哩為單位的。且來看一看，由於這樣的區別造成怎樣的實際影響吧！第一：密度流是相當穩定的海流，只有長期性持久性的作用才能產生它，維持它。第二、範圍的大小關係到地球偏轉力的變或不變。風海流，比較來說，是小規模的，地球偏轉力，對它的作用，只是偏轉力的本身（在比較小的範圍內，地球偏轉力的變化是很小的）。但密度流是大規模的，地球偏轉力對它的作用，不是偏轉力的本身，而是偏轉力的變化。一個東西的本身和它的變化，往往有很大的不同。這一點，只要稍加思考，一定體會得到。第三：風的本身和風的變化（分布就意味着變化）的不同，道理也是一樣的。另外，還要加上一點，就是在風海流的學說裏，沒有考慮到海陸分布。也就是說：假定大洋是無邊無際的，當然，在汪洋大海裏，從一比較小的海區來看，說它無邊無際，未始不可；但海洋畢竟是有邊有際的，這樣就影響到海水和海岸的摩擦問題，這個問題，對在大海環流中起骨幹作用的密度流，是必須重視的。

總結上述，吹流學說的結論是：由於大規模的、持久的風系分布（意味着地球偏轉力的變化和風的變化）和水陸分布（意味着岸邊摩擦的重要）的綜合作用，便形成了密度流和大洋環流。結論還指出：產生密度流的原動力是“風”。因而密度流這一名稱，也有逐漸改稱

“吹流”或“漂流”的趨向。

吹流學說將大洋環流和大氣環流，緊緊地結合在一起；又把汪洋大海裏的海流系統(大洋環流)整個的聯系起來，不再是枝節拼湊，這就是吹流學說最傑出的一點，為以前任何學說所望塵莫及的。

為了便於了解，我們假定有一個理想的海洋，如下圖所示：

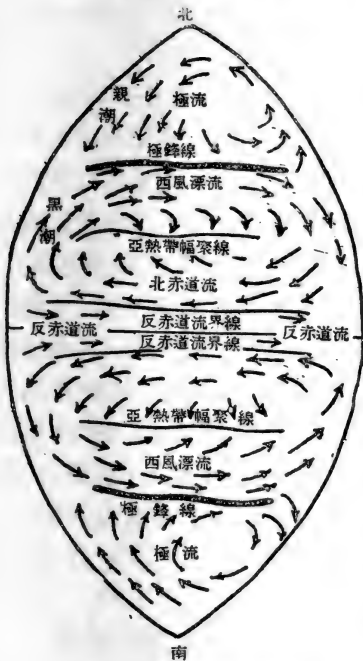


圖 35 表面海流的循環

因為大洋環流，在幾個主要的大洋裏，大體相似，並且在南、北半球也是互相對稱。所以，我們可舉北太平洋作例子，來說明大洋環流的整個情況。

從低緯度開始吧！大家都知道的，在北緯大約 $10^{\circ}$ 到 $25^{\circ}$ 之間，風系上是信風帶，大致全年的風向是自東北向西南吹（這是地球上最穩定的風系）。無疑的，它將帶動海水向西流去，這就是大洋環流中的北赤道流。它的流向，和東北信風大致平行。北赤道流一直向西流去，總有一天要碰到西邊的陸地，那時便不能繼續向西。一部分就折了回來，向東流去，就形成了反赤道流(或赤道逆流)；而主流却是沿着海岸北上，在北太平洋就是著名的黑潮暖流(在北大西洋是著名的墨西哥灣暖流)。這股海流特別旺盛有力，在大洋環流中簡直是突出的。據吹流學說的解釋，認為它是岸邊摩擦(海流與海岸摩擦)和地球偏轉力交互作用所致。地球偏轉力還使黑潮暖流逐漸偏向右方。即是說，漸漸離開海岸，偏向大洋。到了北緯 $40-50^{\circ}$ 的地方，碰上那裏盛行西風帶的風，也是由西向東吹的，於是又把海流從大洋的西面帶回到東面。到了大洋的最東面，又將遇着陸地，迫使海流分

是沿着海岸北上，在北太平洋就是著名的黑潮暖流(在北大西洋是著名的墨西哥灣暖流)。這股海流特別旺盛有力，在大洋環流中簡直是突出的。據吹流學說的解釋，認為它是岸邊摩擦(海流與海岸摩擦)和地球偏轉力交互作用所致。地球偏轉力還使黑潮暖流逐漸偏向右方。即是說，漸漸離開海岸，偏向大洋。到了北緯 $40-50^{\circ}$ 的地方，碰上那裏盛行西風帶的風，也是由西向東吹的，於是又把海流從大洋的西面帶回到東面。到了大洋的最東面，又將遇着陸地，迫使海流分

向南北。主流沿海南下，就是加里福尼亞寒流。這一寒流又接上北赤道流，這樣才完成了北太平洋裏的主要環流。從這裏可以看出：這一循環的原動力是東北信風系統和盛行西風系統。這兩個風系力量的消長和位置變動，自然影響到大洋環流而產生變動。不過，大體說來，這兩個風系都相當平穩，所以大洋裏的環流也不會有大的變動。因為這一環流系統是活動在中緯度和低緯度地方，水溫較高，所以它也被稱為“溫水環流系統”。

在北太平洋裏，除了上述的溫水環流系統外，還有一個環流系統，它是在高緯度地方的。我們從極地開始看吧！極地附近是東風帶，風力推動海水向西流，這就是北太平洋的極流。極流西行到西邊遇着陸地後，便沿海岸南下。它的水很寒冷，在北太平洋裏便是親潮寒流（在北大西洋的是拉布拉多寒流）。親潮南下，與西風漂流相遇，不能繼續南流，一部分便折而向東；另一部分却由海面下沉，滲進到中層去了。向東流的海水，遇到東方大陸時，又折而向北，於是極流本身也完成了一個“冷水環流系統”。它同溫水環流系統交界的地方，由於兩者的水溫和鹽分都有顯著的不同，因而形成一個“不連續面”。在這不連續面上，一股海水南下；一股海水北上，在這兒“輻聚”，逼使一部分海水下沉。北來的海水比較寒冷，重量也大些，所以下沉的一部分海水是北來的冷水，而不是南來的熱水。這個“輻聚”，位在海水下沉的前線，也稱“極鋒線”。

北太平洋裏，還有另外兩個不連續面。它們的位置和名稱，都可以從上面的圖中看出。這兩個不連續面，位在同一環流系統——溫水環流系統內，所以水溫和鹽分的差別，並不十分顯著。僅是海流的流向，有些不同而已。

應該聲明：上面所說的關於北太平洋表面海流的循環，只是根據理論來推測的。也就是比大洋裏環流的實際情況要簡單得多。不過，大致是和實際情況相去不遠的。就大體而論，它是完全可以代表實際情況的。這就證實了吹流學說的真確性，請將下面兩圖和上圖（圖 35）比較一下：





圖 36 太平洋和大西洋表面環流的簡况

也許有人要問：“究竟大洋裏的海流有多大呢？”我們只要舉出一個例子，便足以說明它們的巨大。就以時常提到的最著名的墨西哥暖流來說吧！它的寬度約100哩左右（95哩），深度約1哩，它的流速為每小時2—3哩。它的流量呢？比全世界所有河流的總流量，還大上好幾倍到十幾倍。試想一下，這些看不見的海洋裏的“河流”，有着多麼的巨大力量呀！

在汪洋大海裏，除了表層海流的循環以外；深層海水中，也同樣是有循環的。以前限於資料的缺乏，人們單憑臆測，總以為深層海流的循環非常簡單。近一、二十年來，由於深層觀測的資料日多。根據海洋科學家分析研究的結果，知道了深層環流也相當複雜，絕不是想像中那麼簡單，大旨情形，可從下面圖中看出。

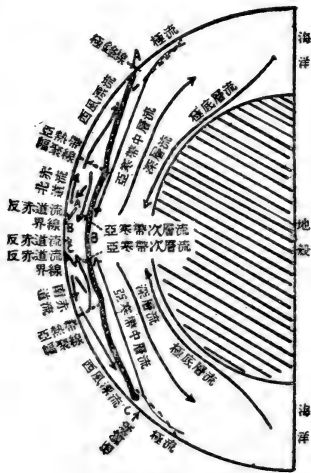


圖 37 深層流的循環

上仍是符合的。

根據實例所得的資料，溫水環流區域和冷水環流區域的界線，大旨是距海面300—500米的深處。在溫水環流區域內，擾動和對流作用，都是相當強烈的。水溫，鹽分都顯出季節上的變化，這一層一般稱為“對流層”。300—500米以下，海水的擾動作用微小得難以辨

圖中可以顯然看出：深層循環和表面循環之間，有着很密切的關係。上面所提到的“極鋒線”，在這裏就有很大的意義。如將南、北兩半球的極鋒線連接起來，就把海洋分為兩個部分。在這一線以上為“溫水環流區域”；在這一線以下為“冷水環流區域”。冷水環流區域內大體又可分為三層：中層流（也稱次層流）、深層流和底層流。它們各以相反的方向流動。

當然，這還是指的理想海洋的情況而論。實際上，由於海底地形的種種不同，還可能有些相當程度的出入，但大體

識，水流也非常緩慢，只有水平流動，水溫、鹽分都已經看不出季節上的變化，一般稱爲“平流層”。

### (六) 祖國海的海流

熱愛祖國的中國人民，一定特別關懷到祖國海裏的海洋狀況。但是非常遺憾，由於過去反動政府根本不關心不注意海洋科學事業，直等到人民政府成立以後，祖國的海洋科學事業才開始發展。在短短的幾年中，雖打下了一些基礎，但大規模的調查研究工作，還沒有展開。因此，對於祖國海的海流，我們所知道的，只能根據外國人，特別是日本人的一些觀測和研究資料，略作介紹，以饗讀者。

祖國海是太平洋的一部分，要了解祖國海流的全貌，必須和太平洋的大洋環流聯系起來才行。翻看前面的圖 36 (4) 所指出的情況，我們可以很清楚的看到：太平洋的北赤道流，向西流去，受到歐亞大陸的阻擋以後，大股折向北流，成爲有名的黑潮暖流。這一暖流的主流，在台灣海峽的東面，經過東海的邊緣，再東北流，經日本的東邊，以後又和北太平洋的西風漂流相接合，流向美洲沿岸去。這股主流，聲勢雖很浩大，但和祖國海海流的直接關係却比較小，除了經過東海的邊緣以外，祖國海的其他三個海——南海、黃海和渤海，都未曾直接受到它的影響。和祖國海海流關係最密切的却是黑潮暖流的兩支分流。一支分流，經過菲律賓和台灣之間的巴士海峽，流入祖國的南海；另一支分流，自東海流入黃海，在夏季，甚至可以到達渤海。這兩支分流的流向，大體說來，都是由南向北的，所以應該是帶有暖流性的。流入到祖國黃、渤海的海水，無疑地將向外流出，這便造成了祖國海裏最重要的一支海流——中國沿岸流。它北起黃、渤海，沿着祖國的海岸南下，經過台灣海峽，流入南海。它的流向，是由北向南，應該是帶有寒流性的。但，祖國海在歐亞大陸之東，受大陸的影響很大，而且，海水本身又淺，所以就表面水溫來說，冬夏間的温度較差極大。祖國沿岸流的海水，夏季的表面水溫，比大洋海水還要熱。因此，它在夏季，完全沒有寒流的象徵；在冬季，遠比大洋海水冷得多，

寒流的特性很明顯。這支祖國沿岸流南下時，沿途容納了祖國各大小河流注入的“陸水”。當海水和河水(淡水)匯合時，它們起混合作用，因此我國沿岸流海水裏的鹽分，一般只有千分之三十上下，要比西太平洋大洋海水的鹽分(千分之三十五左右)低得多。這點差額是不可忽視的，它比太平洋東、西兩岸(距離有上萬里之遙)海水裏的鹽分的差額要大上好幾倍哩！同時，因為有大量陸水混入的關係，祖國沿岸流海水中所含的營養鹽類是比較豐富的，再加以海水較淺和寒暖流匯合等等，這些都造成了祖國為良好漁場的有利條件。下圖指

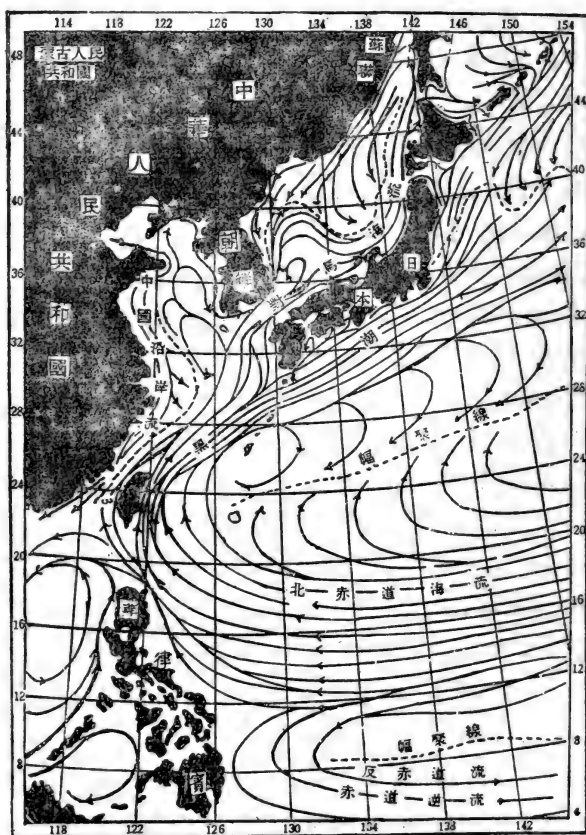


圖 38 遠東和祖國海的海流

出遠東及祖國海海流的大略概況。

祖國海海流的流速，除了台灣以東的黑潮主流和台灣海峽中的海流以外，一般是比較小的。通常一晝夜的流程，只不過二、三浬左右而已。

祖國沿海，潮流相當發達，“半日潮流”和“全日潮流”都有。但除了狹隘的海峽、河口和港口等地方爲“往復流”外，一般都是“迴轉流”。它所兜的圈子，和海岸平行的方向，流速較大；和海岸垂直的方向，流速較小。所以這一圈子，看來大體是一個橢圓形。

### (七) 海流和人類的關係

要想說明海流和人類的關係，我們必須從全面來看問題。這一原則，本來對所有現象都是適用的，但對海流來說，特別重要。因爲它的現象，從外表看來沒有潮汐和波浪那般顯著，容易被人忽視。

試想想，帶動了大量海水，終年不息地流着的巨大海流，它的影響將是何等巨大的啊。對海洋生物來說，影響更是多方面的：第一，海洋生物的習性和海水的流動，關係極密，因海水流動時，也必然帶着它的全部物理和化學性質——溫度、鹽分、壓力、密度……同去，而這些因素，或者是單獨地，或者是綜合地，都和海洋生物的習性緊密聯系着；第二，海水的流動，替各種海洋生物輸運着食物，因海水流動時，它所含的營養鹽類、溶解氣體和大量的浮游生物，都隨着由一個地方移動到另一個地方；第三，海水的流動，又替海洋生物們傳播了種子，這是最顯而易見的。這麼說來，海水的流動關係着海洋生物的各個方面，要是海洋裏沒有海流的話，海洋裏的整個生物世界恐怕要大大改觀，但是沒有波浪和潮汐的話，對它們的影響就遠不如海流了。

海流和漁撈及漁業的關係，是世界上沿海的勞動漁民所素來重視和熟悉的。祖國的漁民，由於他們累積了長期地豐富經驗，對於局部海流規律性的掌握和利用，是相當出色的。這對於服務於生產——漁撈和漁業，能起不小的作用。以網具的放置爲例，就密切地和

海流相關。許多網具完全是利用海流——特別是潮流的力量，將各種水產物沖入網內，遍及祖國沿海的張網漁業，就是很明顯的例證。據富有經驗的漁業生產者說：底曳網漁業必須順流佈網獲量才大；圍網漁業却必須迎流下網方能圍住大隊魚羣，並可避免操作上的故障。至於漁船的進出港口和潮流息息相關，那更是不必多說的了。

海流對航運的關係，也是非常重要的，初看起來，它似乎沒有波浪的影響那麼大。這還是因為波浪的起伏翻騰，容易使人注目，而海流却比較難以察覺的緣故。其實，兩者對航行的關係，可以說不相上下的。假如能夠熟悉和掌握局部及大洋海流的規律，無論是近海或遠洋航行，都有莫大裨益——節約燃料和時間，並減少事故。從下面這一歷史故事，我們可以得到海流和航行的關係的具體概念。一百餘年前，有名的科學家佛蘭克林任美國的郵政部長時，曾發覺當時橫渡北大西洋，往來於英美之間的兩種性能相同的船隻，它們每次來回所需的時間，兩者竟要相差到一、二星期之多。這一事實，吸引了這位科學家部長的深切注意，經過他向各方面調查和研究的結果，才知道航程較快的那種船隻，主要是由於它們在航行時找到竅門：當航行的方向，和墨西哥灣流的方向正巧相反時，就設法儘量避開這支洪流；而另外那種船隻呢？它們就不曾注意到這點，因而在人力、物力和時間上，造成了極大的浪費，這個歷史事例對我們是有教育意義的。現在，航行的技術比一百多年前進步得多了，如以為海流對於航行不再有什麼影響了，這顯然是不正確的，航行遠洋的巨輪，要想達到又省又快又安全的目的，對於海流的情況，是必須十分重視的。

對國防來說，海流也是很重要的。艦隊——尤其是潛艇的行駛和海流——特別是沿岸的潮流諸情況，是有着密切關係的。

海流和氣象的關係，尤其是它對氣候的影響，非常顯著。我們以前在講到海洋性氣候和上升流時，已提到這一點，這裏就不再談了。

## 七. 海洋中的生物世界

### (一) 海洋——生物的理想環境

海洋生物，從單細胞的到最高級的，它們的生命是時刻和海水分不開的。它們不但直接或間接從海水中獲得食物，而且它們身體重量的絕大部分，根本就是由海水組成的，由此可以知道，海水對海洋生物關係的密切了。

誰都知道，海水是一種極好的溶劑。它溶解了海洋生物維持生命所必需的氣體如氧、二氧化碳和各種礦物質。前面，我們曾提到過，海洋裏的某些礦物質，是海洋生物賴以生存必不可缺的基本的原始的生活資料。

大家也都知道，生活在陸上的生物，不論是植物和動物，爲了維持生命，必須一定的水分和溫度，因而它們身體上就非得有各種保水、保溫的特殊構造不行。在海洋裏，水當然是取之不盡，用之不竭的。同時，又因海水的比熱(當海水溫度增高 $1^{\circ}\text{C}$ 時所需的熱量)和蒸發潛熱(海水氣化時所需的熱量)的巨大，便防止了海水溫度的急劇變化。因此，一般說來，海洋生物的維持生命，要比陸地上生物方便得多。

我們還看到：陸地上的生物(動物和植物)，又需要特種結構來支持它們的軀體。而海洋生物呢？由於海水比重的適當，也往往無需複雜的結構來支持身軀(即或有需要的話，總較簡單)。更重要的是：假如海水不是這樣比重的話，許多海洋生物就根本無法生存了。

根據上述的理由，如果我們說：海水本身就是生命細胞最適宜的環境，這話並非言過其實。我們祇要把海水的組成和許多生物體液的組成情形比較一下，就能顯然看出海洋裏低等動物的體液，和海水組成的比例，幾乎是完全一樣的。而且，這種相似的關係，還不僅限

於低等動物，即使陸上比較高級的動物如鱷魚、青蛙和狗，它們體液中的化學組成和海水的化學組成也是相差不大的，這可從下列的表中看出。除了海水之外，我們還找不出第二種物質，它和動物體液的成分，竟相似到這樣的程度。

海水和各種動物體液的化學組成比例表

	鈉	鉀	鈣	鎂	氯	硫酸根(SO <sub>4</sub> )
海 水	100	3.6	3.8	12.1	180	25.2
海月水母	100	5.2	4.1	11.4	186	13.2
海兔(一種軟體動物)	100	4.0	4.4	11.0	180	6.7
龍 蝦	100	3.7	4.9	1.7	171	
鱷 魚	100	4.8	4.5	4.8	100	
青 蛙	100	11.8	3.2	0.8	136	
狗	100	6.6	2.8	0.8	140	

回憶一下，在前面我們講過世界海洋的廣大性：它的面積佔據了地球表面總面積的十分之七以上，它的平均深度在3800米以外。據海洋科學家的估計，海洋所賦予的生活空間，約為陸地和淡水所有生活空間的300倍左右。它所佔的空間，既然這麼巨大，它又具有那些環境條件呢？

它的溫度範圍，從極地海洋中的冰點，到熱帶海洋中的30°C左右；鹽分從河口地方及某些高緯海域的千分之1—2，到紅海的千分之40左右；光線強度從海面的燦爛輝煌到深海區域的黯無天日；壓力範圍從海面的1個大氣壓到深海槽的1,000個大氣壓之上；從這些就可以看出海洋環境的生活條件，是多麼的多種多樣性了。同時，一般說來，在公海大洋中，這種種環境條件的變化，非常微少和迂緩，因此海洋生物無需乎特殊的組織構造，就能自由自在地生活在這個巨大空間之內。

上述海洋的環境，一方面使海洋生物容易維持生活；另一方面也因它比較的均勻和單調，海洋生物的生活是比較原始的；正因為如此，我們從生物的發展來看，海洋生物一般要比陸上生物落後得多。



這種情形，無論是植物或動物，都是一樣。試以動物來說，大家知道，動物的自然分類是以形態來作為分類標準的，有門、綱、目、科、屬、種六級。大體來講，每一“門”動物所具有的基本形態，是源於古代的祖先，而每一“種”動物的不同形態，却因後來環境不同演化而來，生物科學家的調查指出：若以動物的“門”和“綱”來說，海洋動物是居絕大多數；但以“屬”和“種”來說，則陸上動物就要多得多。比如陸上動物中，種類最多的昆蟲一目，就完全沒有海產的。

以整個海洋生物界來論，動物的種類要比植物多上無數倍。且海洋植物的絕大部分，也都是低級的；尤以浮游植物中的藻類為最多，而高等的種子植物，只有鰻草等寥寥數種而已。海洋裏的動物呢？從單細胞的原形蟲到最高級的哺乳類，除了昆蟲等幾種外，幾乎無所不有，所以有人說：“海洋——動物的園地”。

海洋生物，不論動物或植物，按照它們的生活習慣來說，可分成三大類型，就是：底棲生物，浮游生物和自游生物。

底棲生物包括着：(1) 各種附着生物，如海綿、牡蠣、海百合、珊瑚，以及各種附着在海底的藻類；(2) 各種爬行動物，大部分的甲殼動物就屬於這一類，也有少數魚類是在海底爬行的；(3) 各種穴居動物，如大部分的海蛤，和一小部分的甲殼類等。

浮游生物，包括各種完全沒有自游能力，或自游力量非常薄弱的生物。主要是指漂浮在海水裏，隨波逐流的。其中動物、植物都有，所以又有浮游植物和浮游動物之分。浮游生物是海洋生物界中最基本，也是最重要的。以後，我們還會提到的。

自游生物，包括能在廣大海域內自動游泳以覓取食物的全部生物。當然植物不會自動游泳，所以自游生物也就指的是動物，所有魚類和一些海洋中的哺乳類動物，是我們最熟悉的自游生物。

## (二) 海洋生物怎樣來適應它們的環境

作為海洋生物的生活條件來看，在海洋環境裏的所有因子之中，“光”是最突出重要的。且讓我們來看一看，它們如何對光適應吧！

對海洋植物來說，光是絕對必需的。沒有光熱，植物就不能進行光合作用，也就無法生存。光合作用中，尤其需要的是長波的紅光。但，我們前面說過，海水中有光線的深度是極小的，紅光消失得更快。這就使海洋植物的生長，受着極大的限制。海洋植物中，具有綠色素的，像綠葉植物和綠藻類，它們能夠直接利用太陽光線中的紅光起光合作用。一般說來，這類植物的生長，都在海面 and 表層一、二十米以內的淺海。在這深度以下，漸為褐藻類和紅藻類所代替。這兩種藻類，它們的表皮中，有一種褐色或紅色的色素體，能起濾光作用。可以利用極微弱的紅光，或是將短波光線轉變為長波的紅光，然後再進行光合作用。其他各種浮游植物，也都是漂浮在上層海水中。在 200 米以下的海水裏，是完全沒有植物生長的。

對動物而論，就不像植物那般非光不可，據調查：在幾千米深海的黑暗世界裏，還是依然有動物生存着的。海洋動物，對於光的感應各有不同。某些動物，喜愛光，像某些魚類和許多甲殼類。人們利用它們這種特好，在捕捉沙丁魚時，選擇沒有月光的黑夜，在漁船上張起明燈，大隊的魚羣便趨光而落網。某些動物，却不愛光，像海鰻和許多浮游動物。在白天裏就深藏在沒有光線的地方，夜間才出來覓食。

海洋動物對光的適應，可說是無奇不有的，最普遍的，是具有花樣繁多的保護色，它們的體色常常和環境的顏色分不清。比如，生長在珊瑚礁附近的魚類，就有着美麗的花紋。水族館裏，誰不贊嘆熱帶魚類花紋和色澤的鮮豔美麗！大洋中海面的魚類，它們的背部一般都是藍色或綠色，腹部是白色，這樣無論從上面看下去，或從下面看上來，它們都與周圍的顏色相近，簡直很難辨認。自 300—500 米水深中魚類，多是銀色。深海的魚類，則大多是褐色、紅色和黑色。更奇妙的是：有許多魚類的體色和花紋，可以隨時變換來混淆敵人的注意力。最顯著的例子是比目魚、烏賊和魷魚。這種體色變換作用，是由某些動物皮層內具有幾種顏色的色素體之故。在靜止時，為圓形小粒，各粒不相連接，外面包以白色的原形物質。所以在皮層表面，

不呈任何顏色。但它起作用時，色素體便變成放射狀，超出白色的原形物質之外，同時放射的長短，可以自由伸縮，使色素體互相重疊，配成各種顏色。

在一、二千米以下的深層裏，一片漆黑，那裏的動物又是怎樣來獲得光線的呢？陸地上，一般在暗無天日的黑洞裏生長的動物，它們的眼睛是瞎的。那末，是不是生長在深海裏的魚類，也是這樣的呢？不，它們的絕大部分仍有視覺器官。便要問：在黑暗世界裏，它們的眼睛究竟是幹什麼用的？這確是個很有趣並值得研究的問題。

根據科學家研究的結果，指出海洋動物，很多具有發光器官。自單細胞的放射虫，以至魚類，都可尋出代表的種屬，並且從海面到深海，全有分布。在溫、熱帶海洋中，夜間海面常有磷光現象，這是叫做“夜光虫”的浮游動物所發的光。但一般說來，淺海動物發光較少，而深海的却大部分都能發光。

海洋動物的發光機構，種類繁多。有的是分泌一種發光的膠質；有的魚類和甲殼類具有發光細胞，由神經系統來控制發光作用。有人曾做過實驗，把6個能發光的甲殼類，放在2升容量的玻璃瓶內，它們發出的光，竟可閱讀報紙。

除了這種發光器官以外，深海魚類的視覺器官，爲了適應環境，還有幾種很奇妙的特種結構，有一種叫做望遠鏡魚的，它的瞳孔放大，眼眶突出，活像架上了一架望遠鏡，這樣就能利用只有一點點極微的光亮。還有很多深海的魚類，具有一種形如釣鉤的觸角或觸鬚，比它的身體甚至要長好幾倍；同時這種魚的嘴也特別大，這樣，在小動物游過時，即使還看不見，也可利用觸角感覺到，立刻可以張嘴吞嚥。它的腹腔和胃腔，也都具有伸縮性，因此它可吞食超過體重的好幾倍的食物。又有些魚類觸角的尖端，附有發光器的釣鉤，引誘其他動物，以便它的就近捕食。圖39指出了幾個例子。

海洋生物對於溫度適應的特性，也是非常顯著的。因爲海洋動物的大部分都是冷血的，它們的體溫隨環境而變化。我們知道，珊瑚是一種必須常年水溫在 $20^{\circ}\text{C}$ 以上，年變差少於 $7^{\circ}\text{C}$ 的地方才能生

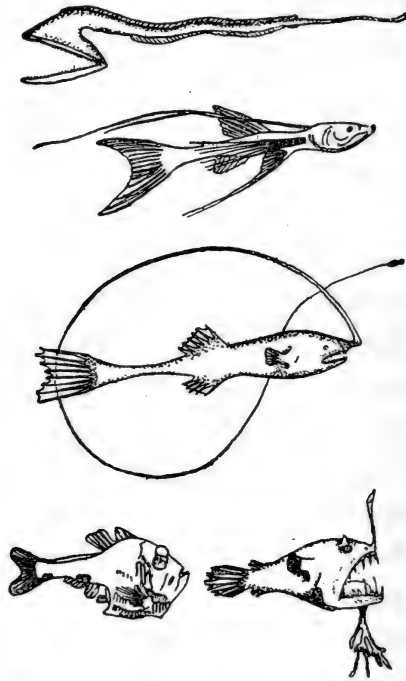


圖 39 幾種具有特種視覺器官的深海魚類

長的動物，不然就會死亡。除了生長在高潮和低潮線之間的生物以外，海洋生物的適溫範圍，一般是較小的。大洋或海底的更小。因為海洋裏的水溫，有季節的變化，因此大洋裏的動物，為了尋找對己適宜的溫度起見，往往有季節性的移動，稱為“洄游”。這一現象，對於漁撈和漁業來說，是有很大關係的。

大家都知道，生物的新陳代謝作用，也是和溫度分不開的。科學的實驗證明：在一定的適溫範圍之內，代謝作用的速率是隨溫度的增高而加快的。因此，熱帶海洋中的生物，生長較快，而寒帶的就相反。但是，也正因代謝作用加速的結果，生物每一個體所需的營養物質，也必增多。所以熱帶海洋生物的生長較快，而生物的每一個體的大小或體重，却並不比寒帶的大些，還恰恰相反哩！調查指出：對於同

一種類的生物來說，在寒帶生長的個體，一般要比在熱帶生長的來得大而重些。

海洋生物之所以成爲海洋生物，就是因爲它們是生長在鹹水裏的，因此鹽分對海洋生物有着一定的影響，是不言而喻的。從對於鹽分的適應來說，海洋生物可分爲兩個類型：一個類型的生物，它們的適鹽範圍很狹，大洋裏或深海裏的生物，大半屬於這一類型，只要鹽分發生相當變化時，它們就要受到致命的威脅。另一個類型，像生活在海岸附近的生物，它們的適鹽範圍比較大得多。鹽分不但能影響海洋生物的類型和習性，而且對它們個體的大小，也有着密切的關係，對同一種類的海洋生物來說，根據研究所得，在鹽分高的地方生長的，要比鹽分低的地方生長來得大些。還有幾種動物，在它們各個生長期中，需要不同的鹽分，海鰻便是一個顯著的例子。調查指出：西歐大西洋沿岸各國在河湖裏生長的一種鰻，它們都要到距離它們生長區的 2 千里外美國沿海岸去產卵，一來一往，耗去了它們一生中很大部分的時間。爲什麼它們要這樣哩？據研究，這就和海鰻的卵子和幼鰻能適應的鹽分有關。

海水的比重（或密度）與海洋生物的浮沉，關係很密。尤其大部分沒有自動游泳能力的生物，爲了維持它們在水中的平衡狀態，不致下沉，於是在它們的身體上，也具有某種的特殊結構來調劑。像大部的浮游生物，它們的形體都呈扁平；或者有很多羽毛狀的分支，以增加它們和海水接觸的面積。有的如水母類體內，水分達百分之 90 之上，這樣也就使體重與海水的比重約略相等。高級動物中，像魚類大都有鰾，可以自由伸縮，增減體內所蓄氣體，藉以調劑體重，隨意升降。此外，還有許多動物的組織中，尤其在它們所產的卵子中，都含有大量脂肪，也能調節體重，使它們可以漂浮在海水的上層。海洋生物的浮沉，既與海水的密度息息相關，因此當海水的比重，發生劇烈變化時，許多生物，便會因一時無法適應，使得大量死亡。

海水的運動和海洋生物的關係，是多方面的。以海流來說，它對於輸送營養食物以及傳播種子（植物）和卵子幼蟲動物都起了一定的

作用，特別是對以浮游生物爲主要食物的動物來說，關係更大。海流的消長，影響它所帶的浮游生物的多少，在有些地方，可以嚴重地影響水產量的豐歉。在有上升流的地方，常能將深層的營養物質，運到上層能增加魚產。前面我們已提到過，一般說來，海流對海洋生物是有利的，但有時在海流經過的地方，或者在海流的兩旁，因海水溫度的驟然變化，也可以遭致生物的大量死亡。最顯著的例子是1882年3月到4月間美國東、北海岸因水溫不同的海流經過，使一種底層魚遭到空前的災難。據調查結果，死亡的魚類總數超過一億尾以上，在一極大的海區內，漁屍在海底堆積了約6呎的厚度。另一個顯著的例子，是南美的智利沿海，那裏平常的水溫，是比較低的，所以生長在那裏的海洋生物，也具有寒、溫帶的特性；但有時因熱帶暖流的侵入，也使得成千上萬的大小生物，遭罹大難。在一很大海區內，臭氣薰天，航行經過的船隻，常會染上一層厚厚的、因屍體腐爛而形成的有色海水，生物的死亡量之大，可以想見。

波浪擾動海面，不但可以摧毀許多體質脆弱的浮游生物，而且還可以將原來在海面及表層的浮游植物，帶到沒有光線的地方，迫使它們死亡。但在淺海區域，它和潮流都可以使海底的營養物質，和上層的相混合，而被利用，這對生物來說，却又有很大的益處。

### (三) 海洋生物之間的相互關係

#### ——海洋生物的食物循環

上面談到的一些，都是關於外界條件，或者說是“非生物環境”對於海洋生物的影響。但，也必須指出，海洋生物本身，也是構成環境的一個重要因素。這一因子，對於每一個海洋生物個體的生活，是具有很大關係的。和上面的非生物環境相對照，我們可以把由一切海洋生物以及它們的活動所構成的環境，稱爲“生物環境”。

先來看一下海洋生物是怎麼生活在一起？從它們的自然組合來說，它們生活在一起的主要方式有三種：一種是“共生”，這就是說：各種各樣不同的動物和植物，由於他們都需要同一的或類似的外界

條件,大家共同生活在一起。生活在這種的環境裏,它們並非完全和平相處,更是常常互相吞噬的。從食物循環的角度來看,凡是共生區域,那裏的食料大體上是自給自足的。另一種是“互生”,他們彼此間生活上的關係,要比“共生”更加密切一些。“互生”的一個類型是:兩種生物相依爲生在一起,其中之一可以因此得到好處,但對另一種也沒有什麼壞處。例如某種小魚是生活在甲殼類的殼裏,這種互生方式,對小魚有利,但對甲殼無害。互生的另一個類型是:好幾種生物生活在一起,彼此都有好處。例如某幾種藻類,可以和珊瑚及海綿互生在一起,這對藻類有利,因爲它從動物體內排出的廢品——如二氧化碳、氮化合物,而動物可以因此除去身體上的廢物,也可利用藻類的光合作用所產生的氧。還有一種生活在一起的方式叫做“寄生”,這是對一方面有利,而對另一方面(寄生主)有害。在海洋裏,藉這一寄生方式維持生活的相當不少。甚至很微小的浮游生物,有時也爲另一種浮游生物所寄生。

這都是指海洋生物在生活方式上的相互關係,但是歸根到底,海洋生物彼此間的連鎖關係中,最最重要的還是餌料(或食物)關係。說得更明白些,就是指各種生物是以怎樣的方式,來構成海洋裏整個生物界的食物循環或食物連鎖呢?某種生物在整個的食物循環中,所處的地位又是怎樣的呢?

提到海洋生物的食物循環,我們立刻會連想到浮游生物。這些微小得常常連肉眼也看不到的浮游生物,就是海洋生物的食物循環中最基本也是最重要的一環。如果沒有這一基本環節,那末海洋生物的食物,也就是海洋裏的整個生物世界,將會引起根本的變化,也可以說海洋裏也根本不可能有這麼多的生物了。可見這些微乎其微的浮游生物,却起着非常重大的作用啊!

前面,我們曾說過,浮游生物分爲浮游植物和浮游動物二大類。浮游植物利用太陽的光熱和無機鹽經過光合作用,製造出有機質來,直接間接地供應了絕大多數海洋動物作爲生物資料。就整個的一集體而論,它是整個海洋生物界食物的原始生產者。這一集體,主要是

由幾種藻類所組成，其中屬於黃綠藻類中的矽藻和鈣(鞭毛)藻，數量尤多。它們全是些很微小的單細胞植物，其中比較大的，也只針尖那般大，惟有在顯微鏡下，才能看清它們的形態和結構。矽藻的特性是喜歡寒冷的海水，特別是有着上昇流的海區。因那裏無機鹽的供給充沛，最宜繁殖，南極附近的海區，便是一例。和矽藻相反，鈣藻的特性是喜歡暖水的，顯然可知，它的分布一定是以溫熱帶為主。這兩種各生長在寒帶和熱帶的藻類，由於寒流及暖流的輸運，有時也會將它們帶到原來生長地帶以外的地方。這些藻類的個體雖小，但它們組成的集體却是很龐大的。它們繁殖的地區，常常使得幾千百里周圍的大片海面變色。當大地春回，陸地上百花盛放時，這些藻類的突然茁長，竟能使海面塗上一層彩色，使人感覺到海面生花的現象。

在海洋生物的食物循環中，比浮游植物高一級的是浮游動物，它所包括的範圍是很廣泛的。從單細胞動物的放射虫，球形虫等，經過水母類，各種扁虫類，圓虫類，一部分甲壳類，直到高級動物如魚類的卵子和幼魚都有代表。它們具有着一“不能自動游泳，必需隨水漂浮”的共同特性，所以總稱為“浮游動物”。它們在食物循環中，所起的主要作用是“承轉作用”。這就是說：它們吞食微小的浮游植物，使自己成為比浮游植物稍大一些的個體，再被其他的肉食動物所吞食。當然，也包括了許多動物是兼具食肉和食草雙重特性的。因此，它們一面直接吞食浮游植物，一面也吞食浮游動物。

在食物循環裏，凡是吞食浮游生物為生的動物，不論它在分類上屬於那一門類，都併稱為“浮游生物的吞食者”。它所包括的範圍極廣，種類極繁，它們中間有些口內具有一種幕狀的過濾器。經過的海水，從它的過濾器依然流出去，而海水中所含的微小生物却被留下當作食物。它們就靠這樣，在浮游中，張大着嘴，倚靠過濾而獲得食物。我們不要認為只有很小的或低級動物，才是這樣的。事實上，高級動物像魚類，就有很多是賴吞食浮游生物以維生的。最奇妙的是：世界上最大的動物——鯨類，也竟以這種微小的浮游生物來作食料的。南極海區是浮游生物最繁殖的地區之一，那裏也正是鯨類最



密集的地方。這就是說，許多鯨類都游到那裏去吞食浮游生物來育肥。

海洋動物中，還有一類動物叫做“檢拾者”，它們多是棲息在海底的泥沙裏，檢拾海底的生物以為食料。這些海底的食料，也有一部分由於附着在那裏的植物而形成，但大部分却是從上層海水裏所沉下來的，海蛤，蟹類以及許多虫類，都是屬於這類的檢食者。

食物循環中的最後一個環節，便是“掠食者”，以整個海洋生物來說，這一類正是我們最熟悉的，因為它們都是比較高級的動物。海洋裏的哺乳動物，像海狗、海獅、海豹等等，便屬於這一類。這一類的動物，為了它們尋覓和掠取食物的便捷，一般都是游泳得很快的。而且視覺器官相當發達，牙齒也極尖銳。許多具有經濟價值的魚類，便是它們所獵食的對象。

如果我們把上面所說的，關於海洋生物食物循環的關係，用一簡單的圖表聯系起來，就可得到下圖：

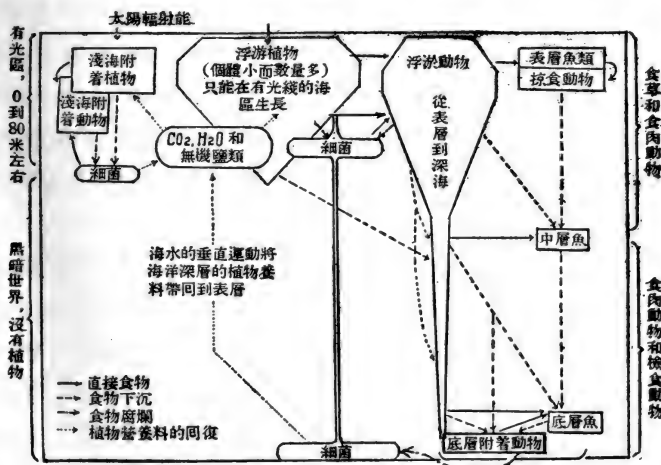


圖 40. 海洋生物的食物循環

圖中指出：整個海洋生物界中，除了沿岸或淺海海區的附着植物及賴以生存的底層動物，在食物循環中，可以自成一一個比較能自足和

獨立的系統外，其他絕大部分的海洋生物是完全可以聯串在一起的，形成食物循環的各個環節。以經濟價值最大的魚類來說，在海洋生物裏面，原是最重要的，但就整個海洋生物界來說，它們所佔的比重，却是很小的。

從圖中，我們還可以看到，細菌在整個海洋生物的食物循環中，佔據了極重要的地位。提起細菌來，就會使人連想到它能引起種種疾病。其實，細菌裏面固然有着不少害人的，但也有些是對人類有益的細菌。如果就有害的和有益的細菌，無論是在種類的數量上或作用來說，簡直不能相提並論。因為假使沒有細菌及它的作用，生物界的食物循環根本無法完成，也就是說：整個生物界的繼續存在和發展，根本就不可能，陸上生物界如此，海洋生物界更是這樣。

海洋裏細菌的種類是很多的，但就它生活狀況來說，可以分成兩大類：一類稱為自動營養細菌，它的作用和綠色藻相近，能把二氧化碳和無機鹽製成有機物。由這類細菌製成的有機物，數量是比較小的，因此它的重要性，遠不如另一類細菌——被動營養細菌來得大。後一類細菌，屬於寄生細菌，它們自己不會從無機物製造有機物，必須從寄生主來攝取營養。而它們的寄生主往往是腐敗的生物屍體，它們所起的作用，就是使腐爛了的有機質，又分解成簡單的無機物，以便海洋植物的吸收和利用，因此它們的功用和影響不能不說是非常巨大的。

我們可以舉海洋細菌對氮化合物的循環的作用，來做為一個實例，就能知道它們的重要性了。生物死後，它的屍體中的蛋白質，為普通的腐爛細菌所破壞，而形成氨或氨酸。然後，再由一種硝化細菌，將氨或氨酸氧化而成亞硝酸鹽。這三種氮化合物，都由植物直接吸收去，經化合或光合作用，構成植物的原形質。試想，假如沒有海洋裏的這些細菌，植物又怎能從腐敗屍體中得到它們所需的養料哩！當植物的生長衰退時，硝化細菌還能將亞硝酸鹽氧化成硝酸鹽，又為植物所吸收。同時，又有各種分解或還原細菌，將硝酸鹽還原為亞硝酸鹽，再還原為氨或氨酸。由此可知，完全是由於這些細菌的存在，

海洋裏營養物質的全部循環才得完成，這樣才能使得生物界永恆不息地繼續綿延着。

此外，海洋細菌對於磷、硫、碳等各元素，也在循環上起有必不可少的作用。

下圖很明顯地指出這一情況。



圖 41 海洋中有機物質的循環

近海沿岸的海區，因動、植物最為繁殖，所以海洋細菌的分布也最多，這樣使營養物質也容易循環。大洋中細菌的分布，有兩個中心：一在表層 50 米左右，那裏它們多附着在浮游植物的屍體上。另一在海底之下幾個裡有腐敗有機質的泥土裏。

#### (四) 談一談漁場和海洋漁業的資源

講到海洋生物，就會很自然地想到許多海產：黃花魚、帶魚、鮫魚、對蝦、紫菜、海帶、海參、牡蠣、製魚肝油的鯊魚等等……。有許多魚是我們通常食用的。這些都是海洋生物的產品，有些是植物（如紫菜、海帶），大部分是動物。就全面來看，海洋動物產品的經濟價值，無疑要比海洋植物產品來得大，尤其是魚類。因此，一般也就以海洋的漁業資源來代表整個海洋的生物資源。雖然，這是一種不完

全準確的看法，在某些個別海區，海洋植物資源的經濟價值，可能比動物資源的更大些；也可能有些海區，海洋動物中非魚類的經濟價值比魚類大得多（如生產大量牡蠣的海區，就是個顯著的例子）。但大體而論，海產之中，仍推魚類產品為首要。據統計：每年由海洋裏所捕獲的魚產量，大約在 2,000 萬噸（等於 400 億斤）左右。如以全世界人口總數 25 億計（根據最近聯合國發表的資料）那就是說：不論男男女女，老老少少，平於每人每年可以吃到 15—20 斤的海產魚。這實在是個不小的數字啊！以海洋面積之廣，深度之大，每年捕撈這樣大量的魚，不算稀奇。但是，衆所週知，在廣大深遼的海洋裏，魚羣並不是均勻地分布着的，正相反，大量的魚羣，一般只是分布於比較少數而範圍不大的一些海區裏。這些海區，稱為“漁場”。為什麼某些海區，會是大羣魚羣集合的場所呢？世界上有那些漁場呢？這就是海洋生物學家們正在研究意圖解決的問題。大體說來，漁場形成原因，主要有如下幾種：

(1) 或者是魚類到一定海區來產卵的（產卵漁場），如祖國山東省烟台附近的海區，盛產鮭魚。據科學家們研究結果，確定為一產卵漁場。就是每年到了一定時間，鮭魚便到這一海區來產卵，它們成羣結隊，捕撈較易。至於為什麼鮭魚一定要到這一海區去產卵呢？這還是個尚未完全解答的問題。一般認為這和產卵期間，需要比較特殊的生活環境，以便卵子和幼魚易以養育，有着密切關係。

(2) 或者是魚類到一定海區去覓食或索餌的（索餌漁場），因為海洋裏魚類或食物餌料（主要是浮游生物）的分布，是不均勻的；有的地方多，有的地方少。因此魚類便要成羣到餌料多的地方去覓食。前面曾說過，海流常常將大量的浮游生物從原地帶到另一地方。在兩個海流（寒流及暖流）匯合的地方，那裏一面由寒流帶來了寒帶性的浮游生物，一面又有暖流帶來了熱帶性的浮游生物，尤其在暖、寒流交匯的地方，因為海水的擾動特別厲害，也就意味着從海水深處帶到表層的营养物質，亦特別豐富，因此浮游生物的滋長和繁殖，也就格外來得快些，所以這裏的食料便異常的豐富，於是大量魚羣相率來

此覓食。世界上最大的漁場：北美的紐芬蘭(是墨西哥暖流與拉布拉多寒流匯合的地方)；日本的北海道(是黑潮暖流和親潮寒流匯合的地方)；和歐洲的北海(是大西洋暖流和北冰洋寒流匯合的地方)都屬這類漁場。

(3) 另外還有一種漁場的形成是由於魚羣到那裏去越冬的(越冬魚場)，比如祖國黃海中部的黃花魚場，可算一個越冬漁場。研究結果，知道黃花魚到那裏避寒(越冬)。

漁場形成的原因，既然有所不同，那末研究每一漁場時，必須了解它的性質和特點。如對產卵漁場來說，應當明瞭產卵期魚類的生活習性和卵子、幼魚的生活環境等等。對索餌魚場來說，需要明瞭在那裏匯合的幾種海流的強弱，以及它們所帶餌料的多少等等。對於越冬漁場來說，便需弄清楚氣候情況和海水溫度的變化等等。這樣，才能進一步掌握漁場的規律性，可為漁場的利用和發展，作出更好的計劃。

無可否認，海洋裏漁業資源是非常巨大的。但如果認為海洋裏的漁類，反正是捕之不盡的可以任意濫捕，那就是絕對錯誤的。研究指出：海洋裏的整個生物界，在一定的自然條件之下，是有它的平衡性的。漁業資源既是海洋生物中食物循環的一個環節，當然不能例外。所以假使這種自然平衡，遭到嚴重的破壞損害，那末要再恢復起來，便是十分困難了。經驗指出：有一些魚產原很富足的漁場，因為忽略了這種自然平衡，捕撈過度，致使大好漁場，完全破壞。犯了這種錯誤是由於沒有考慮到資源的計劃利用，只貪圖目前利益造成了永久的損失，這是值得注意的。關於這點，可以找個類似的例喻來說明，就像漫山遍野的林業資源一樣，倘若不能很好地及時注意和保護森林這一天然資源，那就不能圖謀永久之利。不管林業資源也好，漁業資源也好，都是具有遠大前景的；但一經受到過度的破壞，便要遭致無比的損失。那末，又該怎樣正確理解整個海洋或者某一海區——比如祖國海的漁業資源，而加以合理化的利用呢？這是一個複雜而艱巨的課題，它和海洋科學的各方面都是緊密關連着的。例如



說：要了解漁場的性質，就必須知道重要的經濟魚類的生活及生殖習性和它們的洄游路線等等，要能大旨掌握估計蘊藏量的大小，還要熟悉重要經濟魚類食物（餌料）的種類、數量和來源等等。這些都得事先一一調查清楚。並且應該注意到外界的環境條件：像海洋環境因素——海流、水溫、鹽分、無機鹽、溶解氧等等的變遷，這都對漁業資源有着顯著影響的。因此，就必須通過好幾種專門的科學家們——生物、海洋、氣象、化學……共同努力，合作地進行綜合調查，分析研究，來發現它們內在的聯系，以掌握有關漁業資源的主要規律。祖國的海洋工作，正在開始，在黨和政府英明的指示下，尤其是先進的蘇聯科學家光輝成績的啓發下，我們已有了工作的方向。但也該承認，祖國海洋科學的基礎是十分薄弱的。必需引起人民大眾對這門嶄新科學的重視，使得成百成千的人都能熱心地從事這門科學工作，讓它更好的為人民服務。

### 主 要 參 考 文 獻

- [1] Г. Р. Жуковский: Океанография 1953.
- [2] Ю. В. Истошин: Океанография 1953.
- [3] В. С. Назров и А. М. Муромцев: Океанография 1954.
- [4] Н. У. Sverdrup, M. W. Johnson & R. H. Fleming: The Oceans 1946
- [5] F. P. Shepard: Submarine Geology 1948.
- [6] R. L. Carson: The Sea Around Us 1950.
- [7] U. S. Department of Commerce: Manual of Current Observation 1950.
- [8] 須田皖次: 海洋科學 1935 (昭和八年)。

收到期 56. 1 19

來源 科学出版社赠

存書處 植物研究所

外幣

人民幣

56.38

149

1476842

56.38

149

昆

海洋科学

元江礼著

杨翰大. 61. 2 14

昆

書 號 56.38/149

登記號 1476842

商17A-乙

書號： 03

(專) 08

定價：(8) 0.7